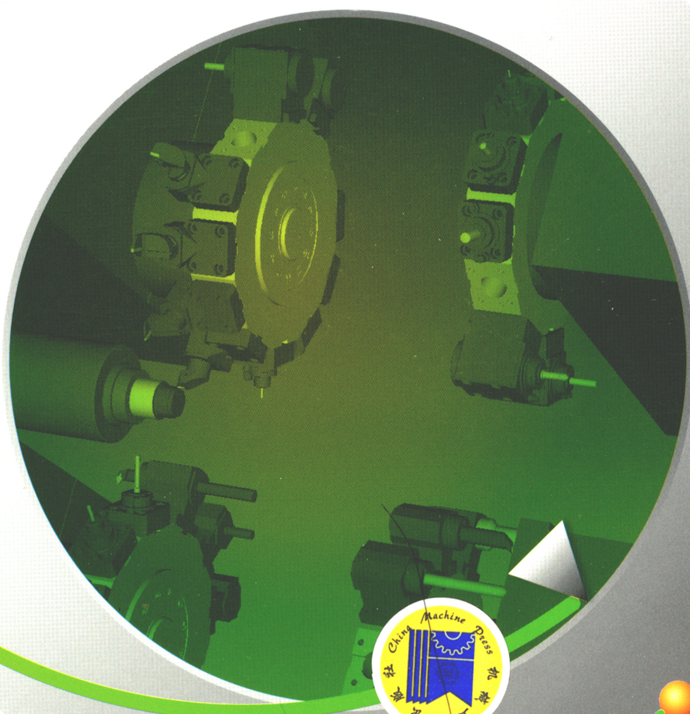
数控仿真软件应用丛书

宇龙4.2 数控仿真技术与应用实例详解

彭美武 编著









机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

数控仿真软件应用丛书

宇龙 4.2 数控仿真技术与应用实例详解

彭美武 编 著



机 械 工 业 出 版 社

全书基于宇龙4.2平台，系统深入地介绍了宇龙数控仿真软件的操作和典型实例。全书共7章，主要内容包括宇龙4.2入门、宇龙4.2基本操作、宇龙4.2机床仿真环境构建、宇龙4.2刀具轨迹仿真、宇龙4.2仿真加工验证与分析、宇龙4.2数控车床仿真实例、宇龙4.2数控铣床及加工中心仿真实例。内容安排从零开始、循序渐进，讲解深入浅出、化难为简，降低读者学习门槛；实例丰富典型，从小型操作示例到最后综合仿真实例，全部取自一线工程实践，实用性和指导性强。读者学习后可举一反三，实现从入门到精通。

本书含光盘一张，包括全书所有实例素材及实例操作的视频讲解，手把手指导读者温习和巩固。本书可作为大中专院校数控技术专业学生的教材，用于指导学生参加数控大赛，还可供广大数控仿真人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

宇龙 4.2 数控仿真技术与应用实例详解/彭美武编著．—北京：机械工业出版社，2011.12

（数控仿真软件应用丛书）

ISBN 978-7-111-36029-2

Ⅰ．①宇…　Ⅱ．①彭…　Ⅲ．①数控机床—加工—计算机仿真—自学参考资料　Ⅳ．①TG659-39

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第201020号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）

策划编辑：周国萍　　责任编辑：周国萍

版式设计：张世琴　　责任校对：刘怡丹

封面设计：姚　毅　　责任印制：乔　宇

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2012年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm・19.5印张・379千字

6001－4000册

标准书号：ISBN 978-7-111-36029-2

ISBN 978-7-89433-146-5（光盘）

定价：48.00元（含1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

社服务中心：（010）88361066

销售一部：（010）68326294

销售二部：（010）88379649

读者购书热线：（010）88379203

策划编辑：（010）88379733

网络服务

门户网：http://www.cmpbook.com

教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

当今世界各国制造业广泛采用数控技术，数控技术水平的高低、数控设备拥有量的多少以及数控技术的普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

随着数控机床的大量使用，社会急需培养大批能熟练掌握现代数控技术的人才。在这种形式下，推广学习宇龙数控仿真软件十分必要。该软件是数控仿真领域的代表性产品，提供车床、立式铣床、卧式加工中心、立式加工中心仿真环境；包括 FANUC 系统、SIEMENS 系统、三菱系统、大森系统、华中数控系统、广州数控系统以及上海市技能鉴定机构所采用的 PA 系统；同时具有丰富的刀具材料库，用户使用它可以进行机床操作全过程仿真，包括毛坯定义、工件装夹、压板安装、基准对刀、安装刀具、机床手动操作等仿真。此外，该仿真软件具有数控程序预检查和运行中的动态检查功能，具有记录考试操作全过程和考试结果的功能以及多种回放方式，是国家及各省指定的数控模拟考核系统。

为了保证图书的实用性，本书以典型的零件为载体，从“零件图样及信息分析”到“零件的检测与分析”，按照读者学习知识的规律，由浅入深，对整个零件的加工过程一步步地进行详细阐述。全书共 7 章，具体内容包括：

第 1、2 章为宇龙 4.2 仿真软件入门，简要介绍了宇龙 4.2 仿真软件的特点、安装启动、用户环境以及基本操作。读者通过学习，将对宇龙 4.2 仿真软件有一基本的了解和认识。

第 3～5 章为宇龙 4.2 仿真技术介绍，包括机床仿真环境构建、宇龙刀具轨迹仿真、宇龙仿真验证与分析。读者通过学习，可以掌握宇龙 4.2 仿真的一般过程和主要技术特点。

第 6、7 章为宇龙 4.2 数控仿真实例，包括 8 个数控车床仿真实例和 7 个数控铣床及加工中心仿真实例。实例全部来自于工程实践，方便读者学习后举一反三，实现入门到精通。

与同类书相比，本书有以下特点：

（1）内容安排以实用、适度为原则，基本技术和应用实例相结合，避免枯燥的纯理论讲解，适合各类读者学习。

（2）实例典型丰富，实践性和代表性强。讲解深入浅出，零件图样及信息分析→加工方法与工艺→零件程序→仿真加工→检测与分析全程展示，快速提升读者的学习效率。

（3）本书含光盘一张，包括全书所有实例素材及实例操作的视频讲解，手把

手指导读者温习和巩固所学知识。

本书由四川工程职业技术学院彭美武编著，黎胜容在资料收集方面提供了一定支持。作为多年从事数控专业教学及担任每届全国数控技能大赛的软件指导老师，书中所有零件图形都由编著者设计和精心选择，从而保证了本书的高质量性。本书适合广大数控仿真人员使用，是参加数控大赛的必备参考书，同时也可作为大中专院校数控专业学生的理想教材。

由于该书涉及内容广泛，笔者水平有限，难免出现一些不完善和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

目　　录

前言

第 1 章　宇龙 4.2 仿真软件入门 1

1.1　软件的功能和特点 1
1.2　软件的系统配置需求 2
1.3　宇龙 4.2 仿真软件的安装及运行 2
1.3.1　软件的安装 2
1.3.2　启动加密锁管理程序 7
1.3.3　用户名及密码管理 8
1.4　宇龙 4.2 仿真软件的用户环境 9
1.4.1　环境对话框 9
1.4.2　菜单栏 10
1.4.3　工具栏 11
1.4.4　软件版本 11

第 2 章　宇龙 4.2 仿真软件基本操作 12

2.1　项目文件管理 12
2.1.1　新建项目 12
2.1.2　打开项目 12
2.1.3　保存项目 12
2.2　视图设置 13
2.2.1　视图变换 13
2.2.2　视图选项设置 14
2.3　互动教学管理 15
2.3.1　授课功能 15
2.3.2　自由练习 15
2.3.3　观察学生当前操作 16
2.4　系统设置及刀库管理 16
2.4.1　系统设置 16
2.4.2　车刀刀具库管理 19
2.4.3　铣刀刀具库管理 22

第 3 章 宇龙 4.2 机床仿真环境构建 24
3.1 数控车床环境构建 24
3.1.1 数控车床的选择 24
3.1.2 数控车床面板 25
3.1.3 数控车床的基本操作 28
3.1.4 车刀的选择及安装 33
3.1.5 数控车床工件的定义和装夹 34
3.2 数控铣床及加工中心环境构建 37
3.2.1 数控铣床及加工中心的选择 37
3.2.2 数控铣床及加工中心面板 38
3.2.3 数控铣床及加工中心的基本操作 38
3.2.4 铣刀的选择及安装 39
3.2.5 数控铣床及加工中心工件的定义和装夹 41
第 4 章 宇龙 4.2 刀具轨迹仿真 45
4.1 数控车床对刀操作 45
4.1.1 G54～G59 参数设置方法 45
4.1.2 刀具补偿参数 46
4.1.3 试切法设置 G54～G59 47
4.1.4 试切法设置刀具补偿参数 49
4.2 数控车床零件加工轨迹仿真检查 49
4.3 数控铣床及加工中心对刀操作 50
4.3.1 刀具半径补偿参数 50
4.3.2 刀具长度补偿参数 50
4.3.3 对刀的方法 51
4.4 数控铣床及加工中心零件加工轨迹仿真检查 56
第 5 章 宇龙 4.2 仿真加工验证与分析 57
5.1 数控车床、铣床自动加工 57
5.1.1 自动/连续方式加工 57
5.1.2 自动/单段方式加工 57
5.2 数控车床工件检测与分析 58
5.2.1 老师评分及检查 58
5.2.2 学生自我检查及分析 62
5.3 数控铣床及加工中心工件检测与分析 64
5.3.1 老师评分及检查 64

5.3.2　学生自我检查及分析 68
第 6 章　宇龙 4.2 数控车床仿真实例 71
6.1　零件圆柱表面及端面的数控车削仿真加工 71
6.1.1　零件图样及信息分析 71
6.1.2　相关基础知识 71
6.1.3　加工方法 74
6.1.4　走刀路线 75
6.1.5　零件程序 75
6.1.6　仿真加工 77
6.1.7　检测与分析 83
6.2　零件圆锥表面的数控车削仿真加工 83
6.2.1　零件图样及信息分析 83
6.2.2　相关基础知识 84
6.2.3　加工方法 89
6.2.4　走刀路线 90
6.2.5　零件程序 91
6.2.6　仿真加工 92
6.2.7　检测与分析 97
6.3　零件圆弧表面的数控车削仿真加工 98
6.3.1　零件图样及信息分析 98
6.3.2　相关基础知识 99
6.3.3　加工方法 101
6.3.4　走刀路线 101
6.3.5　零件程序 102
6.3.6　仿真加工 103
6.3.7　检测与分析 108
6.4　应用单一循环功能及螺纹指令的零件数控车削仿真加工 109
6.4.1　零件图样及信息分析 109
6.4.2　相关基础知识 110
6.4.3　加工方法 118
6.4.4　走刀路线 119
6.4.5　零件程序 119
6.4.6　仿真加工 120
6.4.7　检测与分析 125

6.5 应用复合循环功能的零件数控车削仿真加工 126
6.5.1 零件图样及信息分析 126
6.5.2 相关基础知识 127
6.5.3 加工方法 131
6.5.4 走刀路线 132
6.5.5 零件程序 132
6.5.6 仿真加工 133
6.5.7 检测与分析 139
6.6 典型轴类零件数控车削综合仿真加工 140
6.6.1 零件图样及信息分析 140
6.6.2 相关基础知识 140
6.6.3 加工方法 141
6.6.4 走刀路线 142
6.6.5 零件程序 142
6.6.6 仿真加工 144
6.6.7 检测与分析 151
6.7 典型套类零件数控车削综合仿真加工 152
6.7.1 零件图样及信息分析 152
6.7.2 相关基础知识 152
6.7.3 加工方法 153
6.7.4 走刀路线 154
6.7.5 零件程序 154
6.7.6 仿真加工 155
6.7.7 检测与分析 165
6.8 应用宏程序的零件数控车削综合仿真加工 166
6.8.1 零件图样及信息分析 166
6.8.2 相关基础知识 166
6.8.3 加工方法 172
6.8.4 走刀路线 173
6.8.5 零件程序 173
6.8.6 仿真加工 175
6.8.7 检测与分析 179
第 7 章 宇龙 4.2 数控铣床及加工中心仿真实例 181
7.1 零件平面的数控铣削仿真加工 181

7.1.1　零件图样及信息分析 181
7.1.2　相关基础知识 182
7.1.3　加工方法 196
7.1.4　走刀路线 196
7.1.5　零件程序 197
7.1.6　仿真加工 197
7.1.7　检测与分析 204
7.2　零件轮廓的数控铣削仿真加工 205
7.2.1　零件图样及信息分析 205
7.2.2　相关基础知识 206
7.2.3　加工方法 209
7.2.4　走刀路线 209
7.2.5　零件程序 210
7.2.6　仿真加工 211
7.2.7　检测与分析 218
7.3　应用子程序的零件数控铣削仿真加工 218
7.3.1　零件图样及信息分析 218
7.3.2　相关基础知识 219
7.3.3　加工方法 220
7.3.4　走刀路线 221
7.3.5　零件程序 221
7.3.6　仿真加工 222
7.3.7　检测与分析 230
7.4　应用孔类循环功能的零件数控铣削仿真加工 230
7.4.1　零件图样及信息分析 230
7.4.2　相关基础知识 231
7.4.3　加工方法 237
7.4.4　走刀路线 237
7.4.5　零件程序 237
7.4.6　仿真加工 238
7.4.7　检测与分析 246
7.5　零件数控铣削综合仿真加工 247
7.5.1　零件图样及信息分析 247
7.5.2　相关基础知识 247
7.5.3　加工方法 247

7.5.4 走刀路线 248
7.5.5 零件程序 248
7.5.6 仿真加工 251
7.5.7 检测与分析 259
7.6 应用宏程序的零件数控铣削综合仿真加工 259
7.6.1 零件图样及信息分析 259
7.6.2 相关基础知识 260
7.6.3 加工方法 260
7.6.4 走刀路线 261
7.6.5 零件程序 261
7.6.6 仿真加工 267
7.6.7 检测与分析 275
7.7 零件自动编程的数控铣削仿真加工 275
7.7.1 零件图样及信息分析 275
7.7.2 相关基础知识 276
7.7.3 加工方法 289
7.7.4 走刀路线 289
7.7.5 零件程序 290
7.7.6 仿真加工 293
7.7.7 检测与分析 300
参考文献 301

第 1 章　宇龙 4.2 仿真软件入门

随着数控技术在我国的迅猛发展，传统的试切工作流程已经不能适应目前数控技术的要求，一种新的虚拟制造技术开始产生。这种技术通过模拟整个机床加工过程和校验加工程序的准确性，来帮助用户修正编程错误和改进切削效率，在零件加工之前通过数字化的手段在计算机中验证数控程序以及机床运动。

虚拟制造技术虽然是 20 世纪 80 年代才提出来的，但随着计算机技术的发展，在最近 20 年得到了极大的重视，在工业发达国家（美国、德国、日本）得到了不同程度的广泛研究和应用。我国的虚拟制造技术研究也取得了一些可喜的成果，宇龙仿真软件的应用就是最好的代表，下面首先介绍该软件的功能和特点。

1.1　软件的功能和特点

宇龙 4.2 仿真软件是由上海宇龙软件工程有限公司研制开发的，具有以下特点和功能：

1）该软件能提供车床、立式铣床、卧式加工中心、立式加工中心以及机床厂家的多种常用面板。

2）控制系统包括 FANUC 系统、SIEMENS 系统、三菱系统、大森系统、华中数控系统、广州数控系统等。

3）采用数据库统一管理刀具材料和性能参数库，刀具库含数百种不同材料和形状的车刀、铣刀，支持用户自定义刀具以及相关特征参数。

4）具备对数控机床操作全过程和加工运行全环境仿真的功能，包括毛坯定义与夹具，刀具定义与选用，零件基准测量和设置，数控程序输入、编辑和调试，加工仿真以及各种错误的检测功能。

5）在操作过程中，具有完全自动、智能化的高精度测量功能和全面的碰撞

检测功能，还可以对数控程序进行处理。

6）为了便于教学和鉴定工作的进行，系统还具有考试、互动教学、自动评分和记录回放功能。

归纳起来，本产品具有仿真效果好、针对性强、易于普及等特点。

1.2　软件的系统配置需求

1．硬件配置

CPU：PⅡ400 以上。

内存：128MB 以上。

显示器：1024×768，支持 16 位以上的颜色。

显卡：AGP2X，8MB 以上，推荐 AGP4X，16MB。

2．操作系统

中文 Windows 98、Windows ME、Windows 2000 或 Windows XP、Windows Vista 或 Windows 7，必须安装有 TCP/IP 网络协议。

1.3　宇龙 4.2 仿真软件的安装及运行

1.3.1　软件的安装

在局域网中选择一台机器作为老师机，是由授课老师使用的数控加工仿真系统，一个局域网内只能有一台老师机，其他机器作为学生机，学生机通常由学生使用。

1）将“数控加工仿真系统”的安装光盘放入光驱。

2）在“资源管理器”中单击“光盘”，在显示的文件夹目录中单击“数控加工仿真系统 4.2”文件夹。

3）选择适当的文件夹后，单击“打开”，在显示的文件名目录中双击，系统弹出图 1−1 所示的安装向导对话框。

4）在系统接着弹出的欢迎对话框中单击“下一步”按钮，如图 1−2 所示。

5）进入选择安装类型对话框，选择“老师机”或“学生机”，如图 1−3 所示。

6）在系统接着弹出的软件许可证协议对话框中单击“我接受许可证协议中的条款”按钮，如图 1−4 所示。

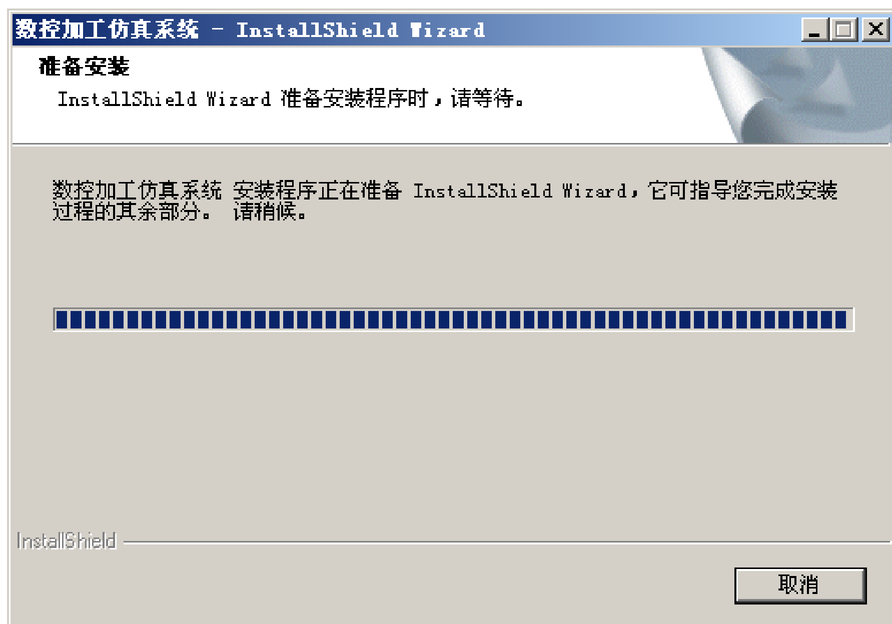


图 1-1　安装向导对话框



图 1-2　欢迎对话框

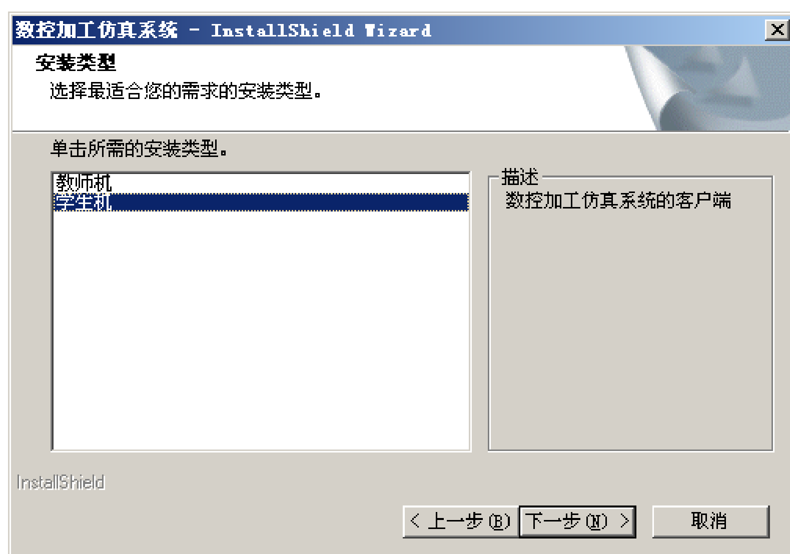


图 1-3　安装类型选择

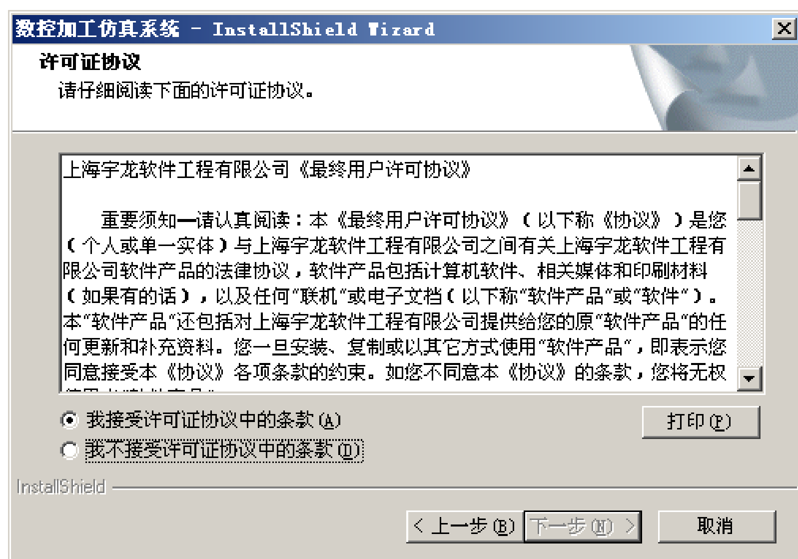


图 1-4　安装许可协议接受

7）系统弹出选择目标位置对话框，在“目的地文件夹”中单击“浏览…”按钮，选择所需的目标文件夹，默认的是“C:\Program Files\数控加工仿真系统”。目标文件夹选择完成后，单击“下一步”按钮，如图 1-5 所示。



图 1-5　安装目标文件夹选择

8）系统进入可以安装程序对话框，单击“安装”按钮，如图 1-6 所示。

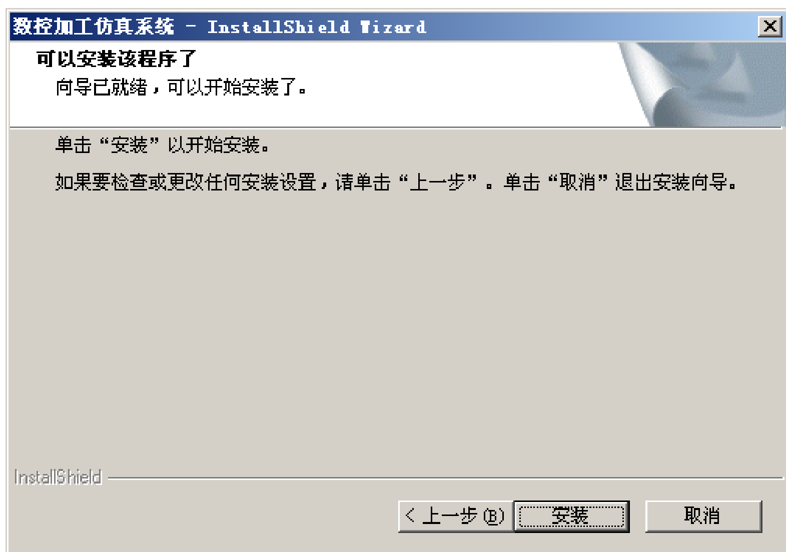


图 1-6　安装准备完成对话框

9）此时弹出数控加工仿真系统的安装对话框，如图 1-7 所示。

10）安装完成后，系统弹出“问题”对话框，询问“是否要在桌面上安装数控加工仿真系统的快捷方式？”，如图 1-8 所示。

创建完快捷方式后，成功完成仿真软件的安装，如图 1-9 所示。

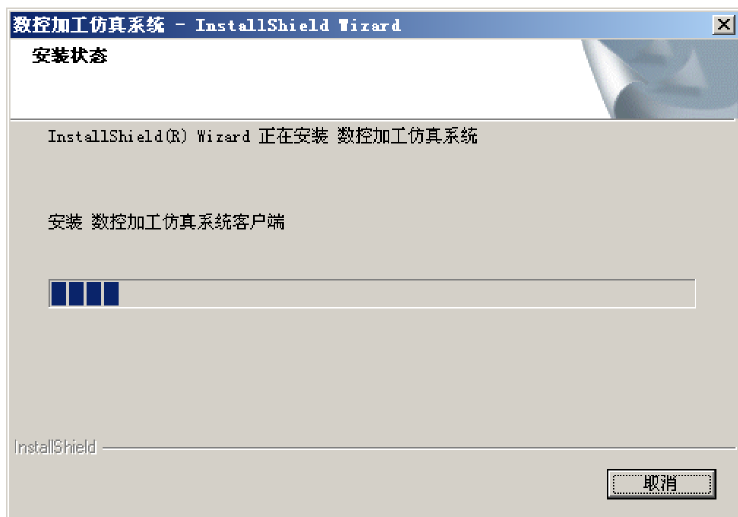


图 1-7　安装状态对话框

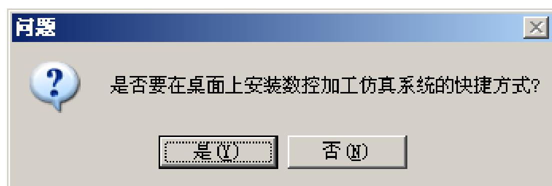


图 1-8　快捷方式创建

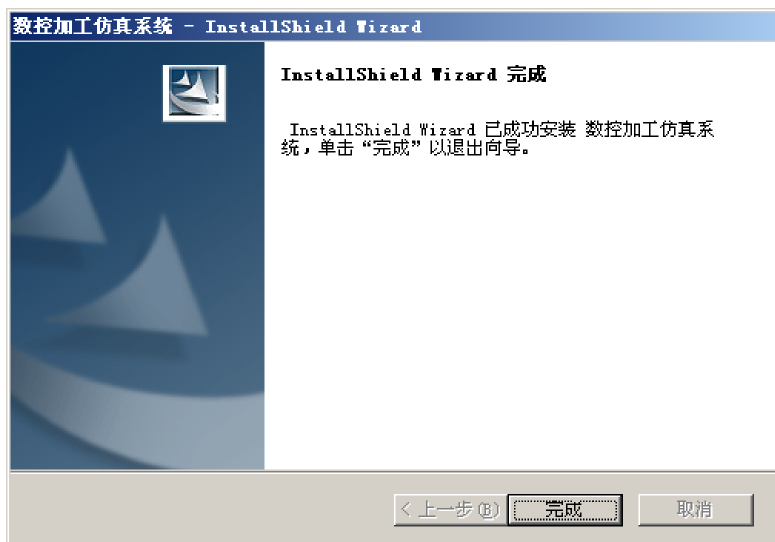


图 1-9　安装完成

1.3.2　启动加密锁管理程序

依次单击“开始”→程序“数控加工仿真系统”→“加密锁管理程序”，如图 1-10 所示。

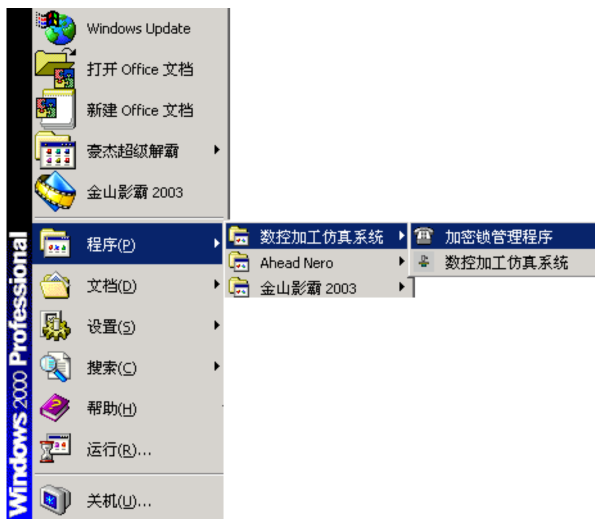


图 1-10　加密锁管理程序启动方式

加密锁程序启动后，屏幕右下方的工具栏中将出现☎图标。

运行数控加工仿真系统，依次单击“开始”→“程序”→“数控加工仿真系统”→“数控加工仿真系统”，系统弹出图 1-11 所示的用户登录对话框。



图 1-11　数控加工仿真系统启动

此时，可以通过单击“快速登录”按钮进入数控加工仿真系统的操作对话框；或通过输入用户名和密码，再单击“确定”按钮，进入数控加工仿真系统。

1.3.3 用户名及密码管理

通过输入用户名和密码进入数控加工仿真系统，其系统初始管理员用户名：manage，密码：system。单击菜单“系统管理”→“用户管理”，弹出“用户管理”对话框，如图 1-12 所示。

图 1-12 【用户管理】对话框

每名用户必须有用户名、密码、验证、姓名、单位。有权限的用户才能进入“用户管理”对话框，添加、修改用户，或批量添加用户。

（1）添加一个用户

进入“用户管理”对话框，单击“添加用户”按钮，用户信息将清空等待输入。

输入用户基本信息：用户名、密码、验证、姓名、单位，对话框右侧用户列表中将新增输入的用户。

添加权限：单击“<<-添加”按钮，添加一项权限，使其在“用户权限”的左侧列表；删除权限：单击“删除->>”按钮，删除一项权限，使其在“用户权限”的右侧列表。

按“保存”按钮，保存输入。

（2）修改/删除用户

进入“用户管理”对话框，在右侧列表中选择用户，可在左侧修改相应内容，或单击“删除用户”按钮，删除选中用户，单击“保存”按钮生效。若同时选中多个用户，单击“删除用户”按钮，可以删除多个用户。登录用户将不

能删除自己。

（3）批量添加用户

批量添加用户通常用于批量添加学生用户，所添加的用户没有任何权限。单击菜单“系统管理”→“批量用户管理”，弹出图 1-13 所示对话框。

图 1-13　“批量管理用户”对话框

批量添加用户操作步骤如下：

1）输入起始数字、终止数字，以数字作为用户名和姓名。

2）选择初始密码与用户名相同，或使用统一密码。

3）填写单位。

4）单击“生成用户列表”按钮，将生成姓名与用户名相同的从起始数字到终止数字用户。

5）单击“保存”、“退出”按钮，完成操作。

1.4　宇龙 4.2 仿真软件的用户环境

下面对宇龙 4.2 仿真软件用户环境做一介绍，使读者对宇龙 4.2 仿真软件有一个简单了解。

1.4.1　环境对话框

宇龙 4.2 仿真软件环境对话框包括菜单栏、工具栏、机床显示区域和机床面

板四个部分，如图 1-14 所示。

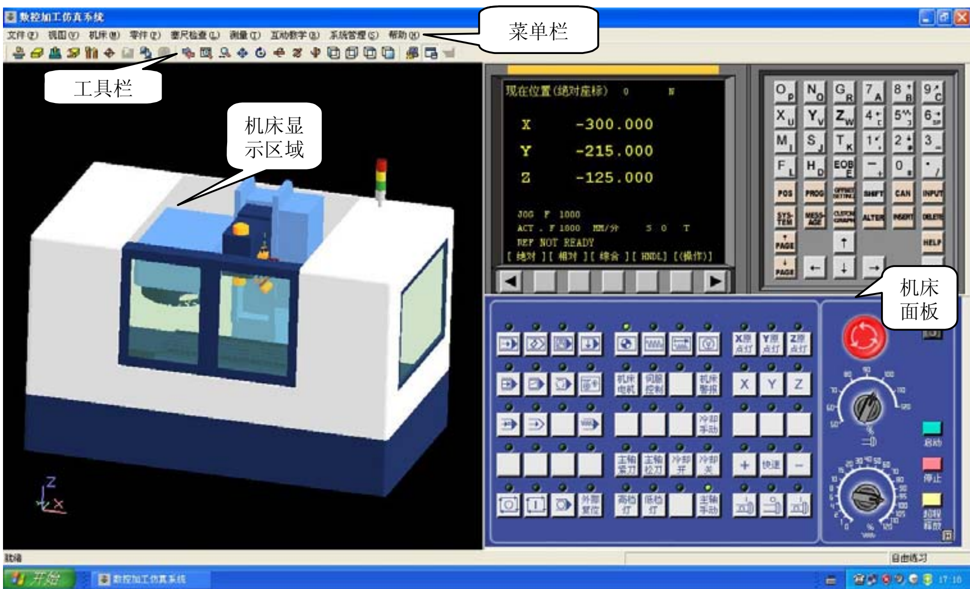


图 1-14　仿真软件环境对话框

1.4.2　菜单栏

宇龙 4.2 仿真软件菜单包括文件、视图、机床、零件、塞尺检查、测量、互动教学、系统管理和帮助 9 个部分。图 1-15 展示了“文件”菜单下面的内容。

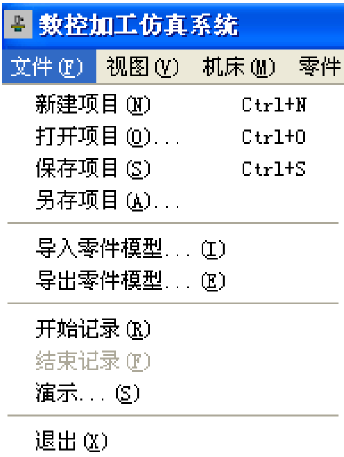


图 1-15　仿真软件“文件”下拉菜单

1.4.3　工具栏

软件工具栏提供了一些常用的快捷功能按钮，当光标指向各按钮时，系统会提示其功能名称，同时在屏幕的底部状态栏显示该功能的详细说明，如图 1-16 所示。当光标移动到最左边的快捷功能按钮时，系统提示："选择机床"。

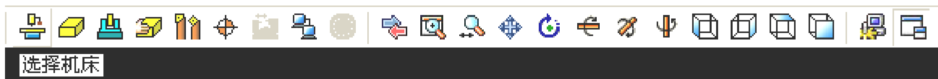


图 1-16　快捷功能工具栏

1.4.4　软件版本

本书采用的是宇龙 4.2 仿真软件，单击菜单"帮助"→"关于"，弹出图 1-17 所示对话框。

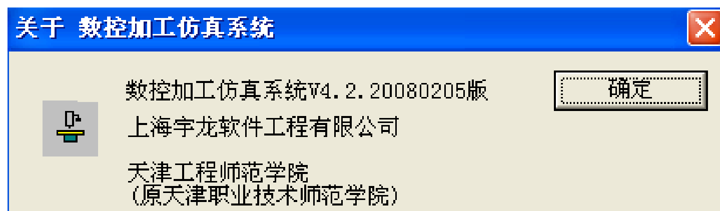


图 1-17　宇龙 4.2 仿真软件版本对话框

第 2 章　宇龙 4.2 仿真软件基本操作

了解了宇龙软件的功能特点和用户环境后，本章对其软件的常用基本操作进行介绍，包括项目文件管理、视图设置、互动教学管理和系统管理。

2.1　项目文件管理

项目文件主要保存以下内容：

1）设置的机床、毛坯、经过加工的零件、选用的刀具和夹具、在机床上的安装位置和方法。

2）输入的参数：工件坐标系、刀具长度和半径补偿数据。

3）输入的数控程序。

2.1.1　新建项目

在“文件”下拉菜单中选择“新建项目”，如图 1-15 所示。选择“新建项目”后，系统被初始化。

2.1.2　打开项目

在“文件”下拉菜单中选择“打开项目”，打开选中的项目文件夹，在项目文件夹中选择并打开后缀名为“MAC”的文件。

2.1.3　保存项目

在“文件”下拉菜单中选择“保存项目”或“另存项目”，均会出现图 2-1 所示对话框。选择需要保存的内容，当内容选择完毕，单击“确定”按钮，然后输入项目名。

保存项目时，系统自动以用户给的文件名建立一个文件夹，内容都保存在该文件夹中。

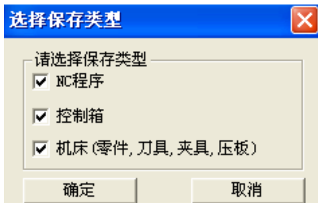


图 2-1　保存项目类型选择

2.2　视图设置

视图设置主要包括视图变换及视图选项设置，下面分别介绍。

2.2.1　视图变换

对机床显示区域可以进行多角度动态的观察，视图变换可通过以下几种途径实现：

1）打开“视图”下拉菜单，如图 2-2a 所示，在其中选择具体的视图类型。

2）工具栏中图标的含义是视图变换操作，分别对应着主菜单“视图”下拉菜单的“复位”、“局部放大”、“动态缩放”、“动态平移”、“动态旋转”、“左侧视图”、“右侧视图”、“俯视图”、“前视图”等命令，可对机床工作区进行视图变化操作。

3）也可通过将鼠标置于机床显示工作区域内，单击鼠标右键，在弹出的浮动菜单里来进行相应的选择，如图 2-2b 所示。



a）　　b）

图 2-2　视图变换操作

2.2.2　视图选项设置

打开“视图”下拉菜单或浮动菜单，在其中选择“选项”或在工具条中选择，出现图 2-3 所示对话框。可对视图选项进行设置，包括以下几个选项：

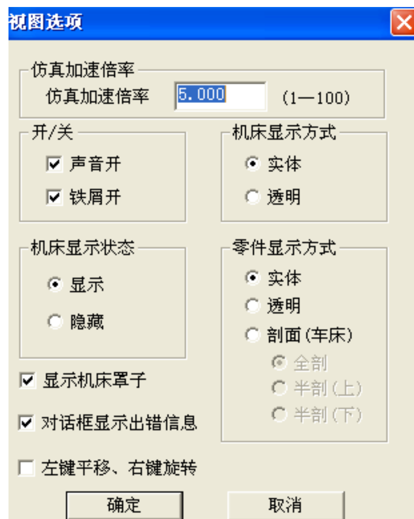


图 2-3　视图选项设置

（1）仿真加速倍率

设置的速度值用以调节仿真速度，有效数值范围为 1～100。如果计算机配置得比较低，可以将速度值减小，有效数值范围为 1～50。

（2）开/关

设置仿真加工时的视听效果。

（3）机床显示方式

用于设置机床的显示，其中零件透明显示仅对车削仿真有效，用以观察内部加工状态。

（4）机床显示状态

用于仅显示加工零件或显示机床全部的设置。

（5）零件显示方式

用于对零件显示方式的设置，有三种方式。

（6）显示机床罩子

如果为了方便看清零件的加工，可以不显示机床罩子。

（7）对话框显示出错信息

如果选中“对话框显示出错信息”，出错信息提示将出现在对话框中；否则，

出错信息将出现在屏幕的右下角。

（8）左键平移、右键旋转

主要定义鼠标左、右键功能。

2.3　互动教学管理

互动教学管理主要包含授课功能、自由练习和观察学生当前操作。

2.3.1　授课功能

要启用授课功能，可以右键单击控制台上“加密锁管理程序”的小图标，将“加密锁管理程序”的当前状态改为“授课”，如图 2-4 所示。



图 2-4　启用授课功能

启动老师机和学生机上的“数控加工仿真系统”，此时即为“授课状态”，屏幕的右下角显示“授课状态”授课状态，老师机可以自由操作，学生机将跟随老师机动作。

在授课状态下，老师可控制学生机鼠标，选中菜单“互动教学”→“鼠标同步”，则学生机与老师机鼠标同步；再次单击“互动教学”→“鼠标同步”，取消同步。

在授课过程中，学生机数控加工仿真系统如果重新启动，学生机将重新快速跟随老师以前操作直到与老师同步。

2.3.2　自由练习

单击菜单“互动教学”→“自由练习”即进入自由练习状态，此时学生机可以自由操作。右下角显示“自由练习”。

单击菜单“互动教学”→“结束自由练习”，即回到“授课状态”。

2.3.3 观察学生当前操作

在“自由练习”状态下，老师单击菜单“互动教学”→“观察学生当前操作”，弹出图 2-5 所示对话框。选择“是”，则重新搜索在线的学生机；选择“否”，则使用上一次搜索到的在线的学生机，弹出图 2-6 所示对话框。

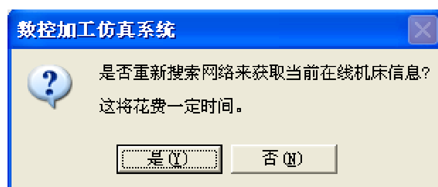


图 2-5 选择搜索功能

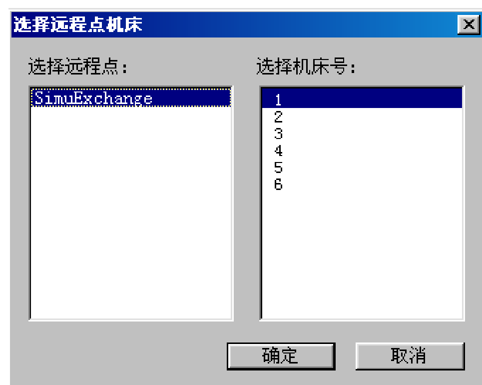


图 2-6 选择观察学生机编号

选择需要查看的学生机的编号，单击“确定”按钮，此时进入“观察学生操作”状态，老师机将跟随学生机同步操作，以便供老师观察。

如果需要退出“观察学生当前操作”状态，可使用键盘快捷方式：Alt+R，弹出“互动教学”菜单，使用方向键，选中“结束观察当前操作”；也可以直接选取“结束自由练习”退出自由练习状态，观察操作也将同时结束。

2.4 系统设置及刀库管理

2.4.1 系统设置

单击菜单“系统管理”→“系统设置”，弹出“系统设置”对话框，如图 2-7 所示。享有“修改系统参数”权限的用户可以对系统设置做出修改。单击“保存”按钮，修改的系统设置参数将会一直被保存，然后单击“退出”按钮。如果单击“应用”按钮，修改的系统设置参数仅用于本次登录有效。

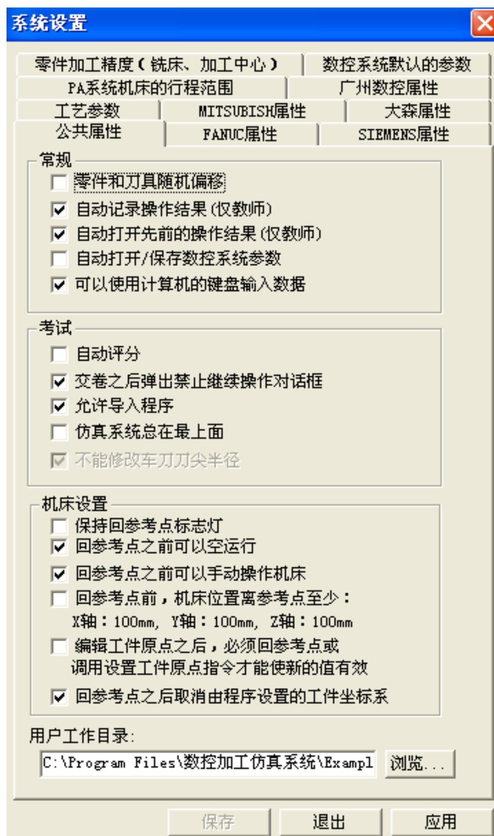


图 2-7　公共属性设置对话框

1. **公共属性**

1）零件和刀具随机偏移：每次放置零件、安装刀具时，在固定位置的基础上产生微小的随机偏移。通常考试时需这样设置。

2）自动记录操作结果（仅老师）：当以管理员身份登录时，关闭时自动记录操作结果。

3）自动打开先前的操作结果（仅老师）：当以管理员身份登录，自动打开上次登录时操作的结果。

4）自动打开/保存数控系统参数：登录时自动打开上次退出时保存的数控系统参数。

5）可以使用计算机的键盘输入数据：选中后下次登录可以使用计算机的键盘代替操作面板的键盘。

6）自动评分：考试结束后按照老师设置的评分标准自动得出考试成绩。

7）交卷之后弹出禁止继续操作对话框：交卷后弹出对话框，可以防止考生

继续操作，输入管理员密码才能退出仿真系统。

8）允许导入程序：可以导入已编辑好的程序文件。

9）仿真系统总在最上面：在考试状态下，仿真系统总是位于屏幕的前面，建议不选此功能。

10）不能修改车刀刀尖半径：所选刀具不可修改刀尖半径，刀尖半径显示框呈灰色。

11）保持回参考点标志灯：回零后，改变机床位置，回参考点标志灯仍然亮。

12）回参考点之前可以空运行：不回参考点，可以执行空运行。

13）回参考点之前可以手动操作机床：不回参考点，可以执行手动操作。

14）回参考点前，机床位置离参考点至少：X 轴：100mm，Y 轴：100mm，Z 轴：100mm：执行回参考点动作前，工作台与参考点最少保持的距离。

15）编辑工件原点之后，必须回参考点或调用设置工件原点指令才能使新的值有效：修改工作原点，必须重新回参考点才有效。

16）回参考点之后取消由程序设置的工件坐标系：回参考点之后，以前的工件坐标系无效。

17）通过“浏览…”选择用户工作目录，或者直接输入。

2. FANUC **属性**

单击“FANUC 属性”，出现图 2-8 所示对话框。各选项设置如下：

1）默认的绝对坐标系原点（0/Power Mate 0 车床）：卡盘底面中心或回零参考点，选择默认。

2）默认的机械坐标系原点（0I/0I Mate 车床）：卡盘底面中心或回零参考点，选择默认。

3）Power Mate 0：回参考点时，X 方向的机床坐标必须大于−50.0，Z 方向的坐标必须小于 0.0，不选。

4）没有小数点的数以千分之一毫米为单位：没有小数点时，单位为 μm，建议不选。

5）换刀指令采用 Tnn 的格式（车床）：换刀格式，建议不选。

6）必须使用 G28 回到换刀点后才能换刀（加工中心）：加工中心换刀前执行指令格式，建议选择。

3. SIEMENS **属性**

单击 SIEMENS 属性，出现图 2-9 所示对话框。各选项设置如下：

1）默认的机床坐标系原点（车床）：卡盘底面中心或回零参考点，选择默认。

2）PRT 有效时显示加工轨迹：自动状态下，选择 CRT 屏幕的软键 Machine；程序控制状态下，选中程序测试（PRT），运行时显示加工轨迹。

3）M6 有效：运行 M6 时才更换刀具。

4）新建程序之后自动打开：新建程序之后，自动进入程序编辑界面，选择默认。

5）导入程序时需要文件头：导入程序需要文件头格式，比如主程序文件名为“%_N_程序名_MPF”，选择默认。

6）802S 主轴需要回零：主轴要旋转，需要先回零，选择默认。

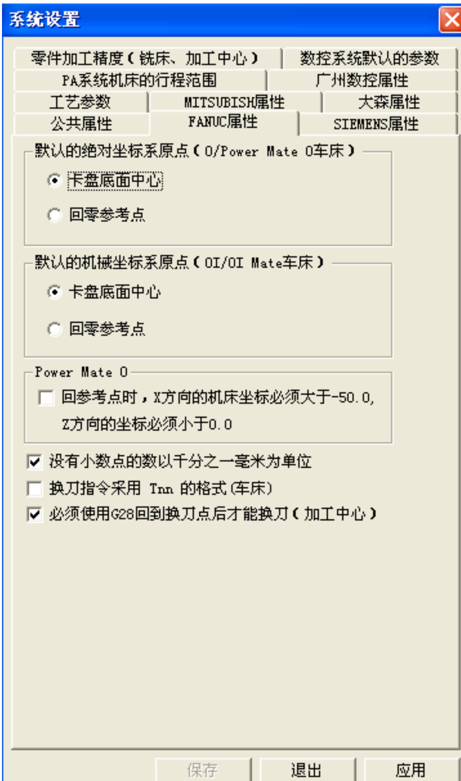


图 2-8 FANUC 属性设置对话框

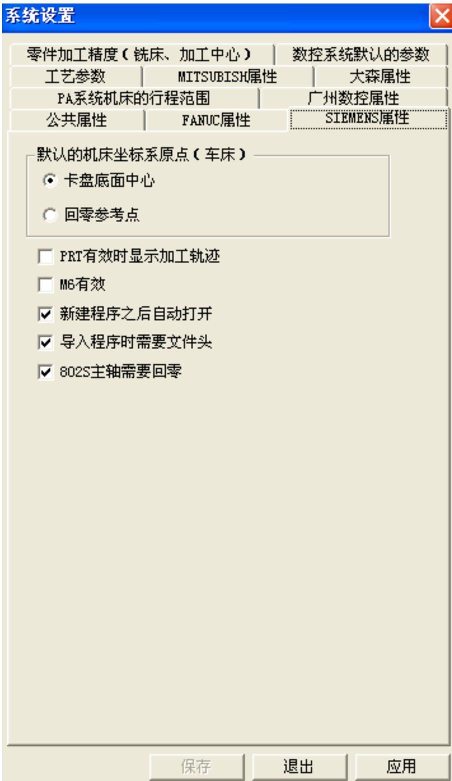


图 2-9 SIEMENS 属性设置对话框

2.4.2 车刀刀具库管理

享有“修改系统参数”权限的用户可以对刀库中的刀具进行更改、添加、删除。单击菜单“系统管理”→“车刀库管理”，弹出图 2-10 所示对话框。

1. **添加刀具**

1）在“车刀刀具库”对话框（图 2-10）中单击“刀片”选项卡，选中一个所需刀片的行状，单击“添加”按钮，右边刀具列表中会出现默认的刀具参数，如图 2-11 所示。选中右边刀具列表中的刀具，在左边“刀片定义”中可修改所需要的参数及名称；修改完成后单击“确认修改”按钮；单击“退出”按钮关闭窗

口，刀片自定义完成。

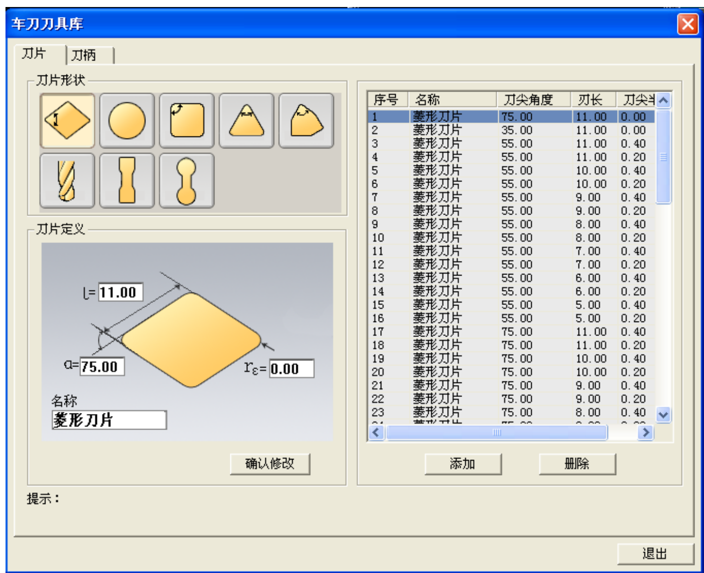


图 2-10 “车刀刀具库”对话框

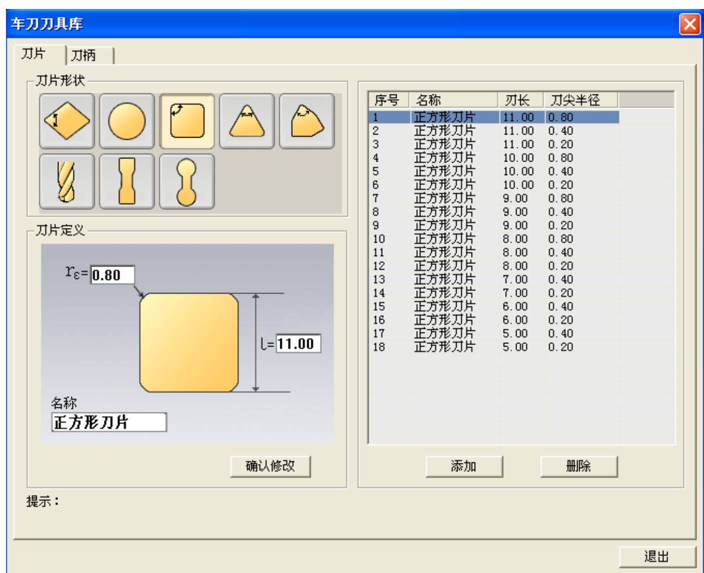


图 2-11 正方形的刀片参数

2）在“车刀刀具库”对话框（图 2-10）中单击“刀柄”选项卡，选中一把刀片形状，再选择所需刀具对应的刀柄；单击“添加”按钮，左边刀具列表中会出现默认的刀具参数，如图 2-12 所示。选中列表中的刀具，在右边的图中修改刀

具“主偏角”参数及名称，单击“确认修改”按钮完成修改。单击“退出”按钮关闭窗口，刀柄自定义完成。

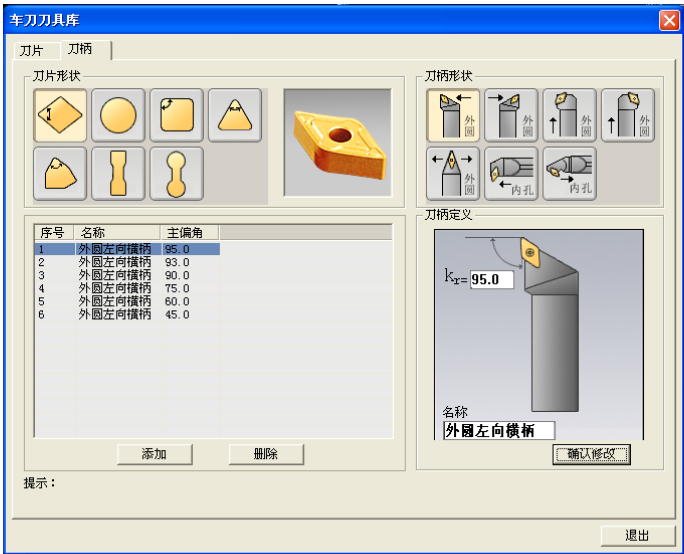


图 2-12　定义刀柄对话框

2. **删除刀具**

1）单击 “刀片”选项卡，在右边刀具列表中选中要删除的刀具，单击“删除”按钮，弹出“确信删除”询问框，如图 2-13 所示。单击“是”按钮即可删除，单击“否”按钮取消删除。



图 2-13　删除刀片对话框

2）单击“刀柄”选项卡，在右边刀具列表中选中要删除的刀具，单击“删除”按钮，弹出“确信删除”询问框，如图 2-14 所示。单击“是”按钮即删除，单击“否”按钮取消删除。单击“退出”按钮关闭窗口，刀具删除完成。

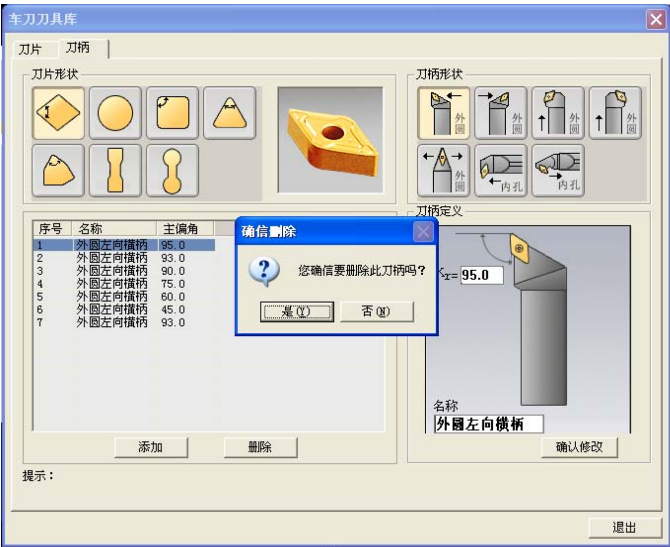


图 2-14 删除刀柄对话框

2.4.3 铣刀刀具库管理

单击菜单“系统管理”→“铣刀库管理”，弹出图 2-15 所示对话框。



图 2-15 “铣刀库管理”对话框

单击“刀具编号（名称）”下拉框，选择一把刀具，此刀具的信息将被显示。



注意

宇龙 4.2 仿真软件只有“深度与进给速度关系”，不使用“每齿切削厚度”。可以使用“刀具旋转线速度”。

1. 添加刀具

1）在“铣刀库管理”对话框（图 2-15）中单击“添加刀具”按钮。

2）输入新的刀具编号（名称）。

3）在“刀具类型”列表中根据图片选择类型，然后单击“选定该类型”按钮，选中刀具类型。

4）输入刀具参数。

5）单击“保存”按钮，完成添加刀具。

2. 删除刀具

1）在“刀具编号（名称）”下拉列表框中选择要删除的刀具。

2）单击“删除当前刀具”按钮，完成删除操作。

3. 刀具类型详细资料

在“刀具类型”列表中选择一种刀具类型，单击“详细资料”按钮，可查看刀具类型基本信息，如图 2-16 所示。



图 2-16　“刀具基本信息”对话框

第 3 章　宇龙 4.2 机床仿真环境构建

本章对宇龙 4.2 机床仿真环境的构建操作进行介绍，包括数控车床、数控铣床及加工中心环境构建。

3.1　数控车床环境构建

3.1.1　数控车床的选择

单击菜单“机床 ”→“选择机床…”，弹出“选择机床”对话框。在“选择机床”对话框中选择控制系统类型和相应的机床。如图 3-1 所示，选择控制系统“FANUC 0i”和“车床”，车床类型选择“标准（平床身前置刀架）”，单击“确定”按钮，系统即可切换到车床仿真加工对话框，如图 3-2 所示。



图 3-1　选择机床类型

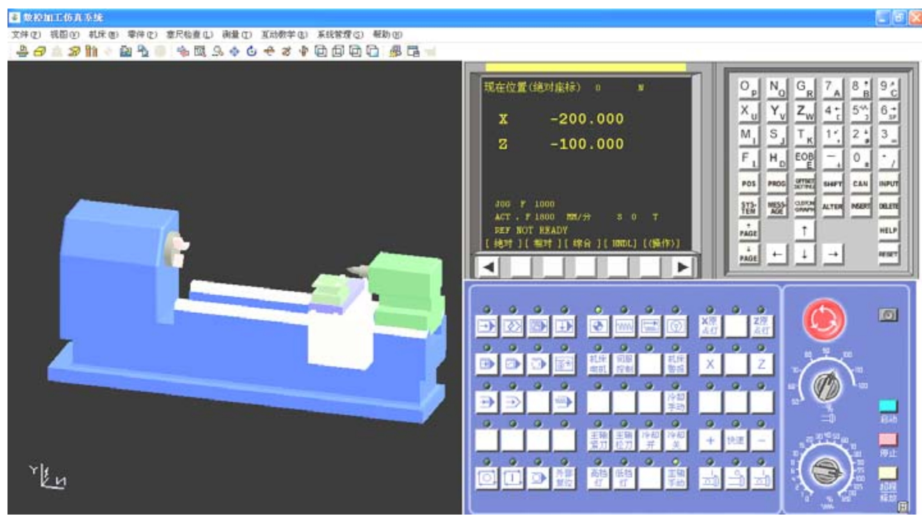


图 3-2　宇龙 4.2 仿真系统 FANUC 0i 车床仿真加工系统对话框

3.1.2　数控车床面板

数控车床的面板主要包括 MDI 键盘和机床操作面板两部分。其中，MDI 键盘主要用于程序编辑、参数设置等；而机床操作面板主要用于对机床进行调整和控制。上海宇龙软件公司提供的 FANUC 0i 车床标准面板如图 3-3 所示。上半部分是 MDI 键盘，下半部分是机床操作面板。MDI 键盘上各个键的功能见表 3-1。



图 3-3　FANUC 0i 车床标准面板

表 3-1 MDI 键盘功能

MDI 软键	功 能
↑PAGE ↓PAGE	↑PAGE实现左侧 CRT 中显示内容的向上翻页；↓PAGE实现左侧 CRT 显示内容的向下翻页
↑ ← ↓ →	移动 CRT 中的光标位置。↑实现光标的向上移动，↓实现光标的向下移动，←实现光标的向左移动，→实现光标的向右移动
O_P N_Q G_R X_U Y_V Z_W M_I S_J T_K F_L H_D EOB_E	实现字符的输入，单击SHIFT键后再单击字符键，将输入右下角的字符。例如：单击O_P将在 CRT 的光标所在位置输入“O”字符，单击软键SHIFT后再单击O_P，将在光标所在位置处输入 P 字符；软键中的“EOB”将输入“;”号，表示换行结束
7_A 8_B 9_C 4_[5_] 6_SP 1_, 2_# 3_= -_+ 0_* ._/	实现字符的输入，例如：单击5将在光标所在位置输入“5”字符；单击SHIFT后再单击5，将在光标所在位置处输入“]”
POS	在 CRT 中显示坐标值
PROG	CRT 将进入程序编辑和显示对话框
OFFSET SETTING	CRT 将进入参数补偿显示对话框
SYS-TEM	本软件不支持
MESS-AGE	本软件不支持
CUSTOM GRAPH	在自动运行状态下将数控显示切换至轨迹模式
SHIFT	输入字符切换键
CAN	删除单个字符
INPUT	将数据域中的数据输入到指定的区域
ALTER	字符替换
INSERT	将输入域中的内容输入到指定区域
DELETE	删除一段字符
HELP	本软件不支持
RESET	机床复位

FANUC 0i 车床操作面板的具体功能见表 3-2。

表 3-2　FANUC 0i 车床操作面板功能

按　钮	名　称	功能说明
	自动运行	此按钮被按下后，系统进入自动加工模式
	编辑	此按钮被按下后，系统进入程序编辑状态，用于直接通过操作面板输入数控程序和编辑程序
	MDI	此按钮被按下后，系统进入 MDI 模式，手动输入并执行指令
	远程执行	此按钮被按下后，系统进入远程执行模式，即 DNC 模式，输入输出资料
	单节	此按钮被按下后，运行程序时每次执行一条数控指令
	单节忽略	此按钮被按下后，数控程序中的注释符号“/”有效
	选择性停止	当此按钮按下后，“M01”代码有效
	机械锁定	锁定机床
	试运行	机床进入空运行状态
	进给保持	程序运行暂停，在程序运行过程中，按下此按钮运行暂停。按 “循环启动”恢复运行
	循环启动	程序运行开始；系统处于“自动运行”或“MDI”位置时按下有效，其余模式下使用无效
	循环停止	程序运行停止，在数控程序运行中，按下此按钮停止程序运行
	回原点	机床处于回零模式；机床必须首先执行回零操作，然后才可以运行
	手动	机床处于手动模式，可以手动连续移动
	手动脉冲	机床处于手轮控制模式
	手动脉冲	机床处于手轮控制模式
X	X 轴选择按钮	在手动状态下，按下该按钮则机床移动 X 轴
Z	Z 轴选择按钮	在手动状态下，按下该按钮则机床移动 Z 轴
+	正方向移动按钮	手动状态下单击该按钮，系统将向所选轴正向移动。在回零状态时，单击该按钮将所选轴回零
−	负方向移动按钮	手动状态下单击该按钮，系统将向所选轴负向移动
快速	快速按钮	按下该按钮，机床处于手动快速状态
50 60 70 80 90 100 110 120 %	主轴倍率选择旋钮	将光标移至此旋钮上后，通过单击鼠标的左键或右键来调节主轴旋转倍率

（续）

按　　钮	名　　称	功 能 说 明
	进给倍率	调节进给运行时的进给速度倍率
	急停按钮	按下急停按钮，使机床移动立即停止，并且所有的输出，如主轴的转动等都会关闭
超程释放	超程释放	系统超程释放
	主轴控制按钮	从左至右分别为正转、停止、反转
H	手轮显示按钮	按下此按钮，则可以显示出手轮面板
	手轮面板	单击H按钮，将显示手轮面板
	手轮轴选择旋钮	手轮模式下，将光标移至此旋钮上后，通过单击鼠标的左键或右键来选择进给轴
	手轮进给倍率旋钮	手轮模式下，将光标移至此旋钮上后，通过单击鼠标的左键或右键来调节手轮步长。×1、×10、×100 分别代表移动量为 0.001mm、0.01mm、0.1mm
	手轮	将光标移至此旋钮上后，通过单击鼠标的左键或右键来转动手轮
启动	启动	启动控制系统
停止	关闭	关闭控制系统

3.1.3　数控车床的基本操作

1. 开机

1）单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

2）检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

2. 回参考点

1）检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

2）在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮X，使 X 轴方向移动指示灯变亮X，单击正方向移动按钮+，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮Z，使指示灯变亮，单击+，

Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

3. **机床位置对话框**

单击进入坐标位置对话框，单击菜单软键[相对]、[绝对]和[综合]，弹出相对坐标对话框（图 3-4）、绝对坐标对话框（图 3-5）和综合坐标对话框（图 3-6）。



图 3-4　相对坐标对话框



图 3-5　绝对坐标对话框



图 3-6　综合坐标对话框

4. **程序管理**

（1）导入数控程序

数控程序可以通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式（*.txt 格式）文件，也可直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。导入数控程序的步骤如下：

1）单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。

2）再按菜单软键[操作]，在弹出的下级子菜单中按软键，再按菜单软键[READ]，转入图 3-7 所示对话框。单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“Ox”（x 为任意不超过四位的数字），按软键[EXEC]。

3）单击菜单“机床 ”→“DNC 传送”，在弹出的对话框（图 3-8）中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上。



图 3-7　数控系统导程序对话框

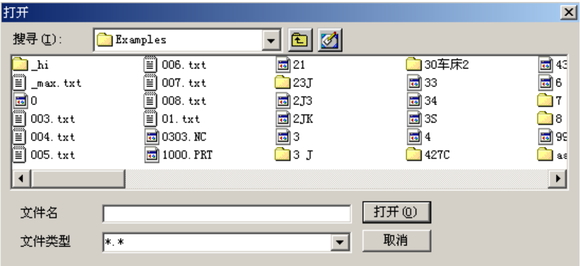


图 3-8　存数控程序文件目录

（2）显示数控程序目录

经过导入数控程序操作后，单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。按菜单软键[LIB]，经过 DNC 传送的数控程序名列表显示在 CRT 对话框上，如图 3-9 所示。

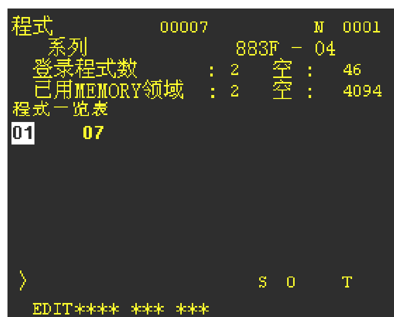


图 3-9 数控程序名列表

（3）选择一个数控程序

经过导入数控程序操作后，单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“Ox”（x 为数控程序目录中显示的程序号），按↓键开始搜索，搜索到后“Ox”显示在屏幕首行程序号位置，NC 程序将显示在屏幕上。

（4）删除一个数控程序

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。利用 MDI 键盘输入“Ox”（x 为要删除的数控程序在目录中显示的程序号），按DELETE键，程序即被删除。

（5）新建一个 NC 程序

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“Ox”（x 为程序号，但不能与已有的程序号重复），按INSERT键，CRT 对话框上将显示一个空程序，可以通过 MDI 键盘开始程序输入。输入一段代码后，按INSERT键后数据输入域中的内容将显示在 CRT 对话框上，用回车换行键EOB E结束一行的输入后换行。

（6）删除全部数控程序

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“0-9999”，按DELETE键，全部数控程序即被删除。

（7）程序编辑

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。选定一个数控程序后，此程序显示在 CRT 对话框上，可对数控程序进行编辑操作。

1）移动光标。按和用于翻页，按方位键↑↓←→移动光标。

2）插入字符。先将光标移到所需位置，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，将代码输入到输入域中，按键，把输入域的内容插入到光标所在代码后面。

3）删除输入域中的数据。按键用于删除输入域中的数据。

4）删除字符。先将光标移到所需删除字符的位置，按键，删除光标所在的代码。

5）查找。输入需要搜索的字母或代码（代码可以是一个字母或一个完整的代码，例如 N0010、M 等），按↓键开始在当前数控程序中光标所在位置后搜索。如果此数控程序中有所搜索的代码，则光标停留在找到的代码处；如果此数控程序中光标所在位置后没有所搜索的代码，则光标停留在原处。

6）替换。先将光标移到所需替换字符的位置，将替换成的字符通过 MDI 键盘输入到输入域中，按键，把输入域的内容替代光标所在处的代码。

（8）保存程序

编辑好程序后需要进行保存操作。单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。按菜单软键[操作]，在下级子菜单中按菜单软键[Punch]，在弹出的对话框中输入文件名，选择文件类型和保存路径，单击“保存”按钮，如图 3-10 所示。

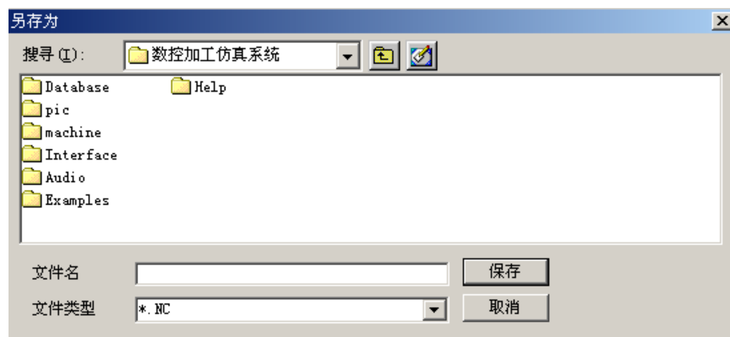


图 3-10　程序保存路径

5. MDI 方式

单击操作面板 MDI 键盘上的按钮，使其指示灯变亮，进入 MDI 模式。

1）在 MDI 键盘上按键，进入编辑页面。

2）输入数据指令：在输入键盘上单击数字/字母键，可以作取消、插入、删除等修改操作。

3）按数字/字母键键入字母“O”，再键入程序号，但不能与已有的程序号重复。

4）输入程序后，用回车换行键EOB E结束一行的输入后换行。

5）移动光标，按↑PAGE、↓PAGE上下方向键翻页。按方位键↑、↓、←、→移动光标。

6）按CAN键，删除输入域中的数据；按DELETE键，删除光标所在的代码。

7）按键盘上的INSERT键，输入所编写的数据指令。

8）输入完整数据指令后，按循环启动按钮运行程序。

9）用RESET清除输入的数据。

6. 手动方式

（1）手动连续方式

单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯亮，机床进入手动模式。

1）分别单击X、Z键，选择移动的坐标轴。

2）分别单击+、-键，控制机床的移动方向。

3）单击键控制主轴的转动和停止。

注：刀具切削零件时，主轴需转动。加工过程中刀具与零件发生非正常碰撞后（非正常碰撞包括车刀的刀柄与零件发生碰撞、铣刀与夹具发生碰撞等），系统弹出警告对话框，同时主轴自动停止转动，调整到适当位置，继续加工时需再次单击按钮，使主轴重新转动。

（2）手动脉冲方式

在手动/连续方式或在对刀，需精确调节机床时，可用手动脉冲方式调节机床。

1）单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使指示灯变亮。

2）单击按钮H，显示手轮。

3）鼠标对准“轴选择”旋钮，单击左键或右键，选择坐标轴。

4）鼠标对准“手轮进给速度”旋钮，单击左键或右键，选择合适的脉冲当量。

5）鼠标对准手轮，单击左键或右键，精确控制机床的移动。

6）单击键控制主轴的转动和停止。

7）单击H键，可隐藏手轮。

7. 自动加工方式

（1）自动连续方式

自动加工流程：检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。导入数控程

序或自行编写一段程序。单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮；单击操作面板上的“循环启动”按钮，程序开始执行。

数控程序在运行过程中可根据需要暂停、急停和重新运行。

数控程序在运行时，按“进给保持”按钮，程序停止执行；再单击“循环启动”按钮，程序从暂停位置开始执行。

数控程序在运行时，按下“急停”按钮，数控程序中断运行，继续运行时，先将急停按钮松开；再按“循环启动”按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。

（2）自动/单段方式

检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零，再导入数控程序或自行编写一段程序。单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮；单击操作面板上的“单节”按钮，然后单击操作面板上的“循环启动”按钮，程序开始执行。

注：

1）自动/单段方式执行每一行程序均需单击一次“循环启动”按钮。

2）单击“单节跳过”按钮，则程序运行时跳过符号“/”有效，该行成为注释行，不执行。

3）单击“选择性停止”按钮，则程序中 M01 有效。

4）程序自动运行时，可以通过“主轴倍率”旋钮和“进给倍率”旋钮来调节主轴旋转的速度和移动的速度。

5）按RESET键可将程序重置，程序自动状态运行停止。

8. 检查运行轨迹

NC 程序导入后，可检查运行轨迹。

单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮，转入自动加工模式，单击 MDI 键盘上的PROG按钮，单击数字/字母键，输入“Ox”（x 为所需要检查运行轨迹的数控程序号），按↓按钮开始搜索，找到后，程序显示在 CRT 对话框上。单击CUSTOM GRAPH按钮，进入检查运行轨迹模式，单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察。

3.1.4 车刀的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具”，或者在工具条中选择“”图标，系统弹出“刀具选择”对话框。

系统允许数控车床同时安装 8 把刀具（后置刀架）或者 4 把刀具（前置刀架），相应对话框如图 3-11 和图 3-12 所示。



图 3-11　后置刀架车刀选择

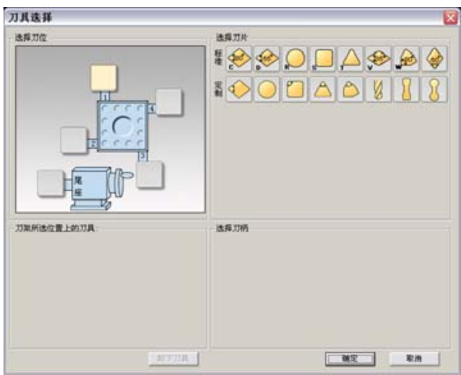


图 3-12　前置刀架车刀选择

1. 选择、安装车刀

1）在刀架图中单击所需的刀位。该刀位对应程序中的 T01～T08（T04）。

2）选择刀片类型。

3）在刀片列表框中选择刀片。

4）选择刀柄类型。

5）在刀柄列表框中选择刀柄。

2. 变更刀具长度和刀尖半径

车刀选择完成后，对话框的左下部位显示出刀架所选位置上的刀具。其中显示的“刀具长度”和“刀尖半径”均可以由操作者修改。

3. 拆除刀具

在刀架图中单击要拆除刀具的刀位，单击“卸下刀具”按钮。

4. 确认操作完成

单击“确认”按钮完成操作。

3.1.5　数控车床工件的定义和装夹

1. 定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯”，或者在工具条上选择“ ”，系统弹出图 3-13 或图 3-14 所示对话框。

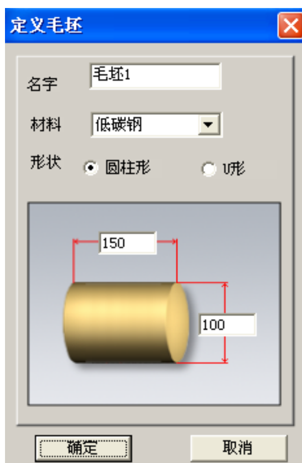


图 3-13　圆形毛坯定义

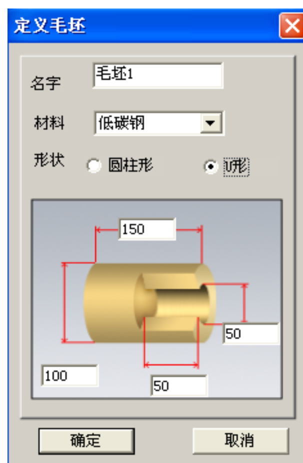


图 3-14　U 形毛坯定义

（1）名字输入

在毛坯“名字”输入框内输入毛坯名，也可使用默认值。

（2）选择毛坯材料

毛坯材料列表框中提供了多种供加工的毛坯材料，可根据需要在“材料”下拉列表中选择毛坯材料。

（3）选择毛坯形状

车床提供圆柱形毛坯和 U 形毛坯，根据需要选择即可。

（4）参数输入

尺寸输入框用于输入尺寸，单位为 mm。

（5）保存退出

按“确定”按钮，保存定义的毛坯并且退出本操作。

（6）取消退出

按“取消”按钮，退出本操作。

2. 导入零件模型

机床在加工零件时，除了可以使用原始定义的毛坯，还可以对经过部分加工的毛坯进行再加工，这个毛坯被称为零件模型，可以通过导入零件模型的功能调用零件模型。

单击菜单“文件”→“导入零件模型”，若已通过导出零件模型功能保存过成型毛坯，则系统弹出“打开”对话框，在此对话框中选择并且打开所需的后缀名为“PRT”的零件文件，则选中的零件模型被放置在工作台面上。

3. 导出零件模型

导出零件模型功能是把经过部分加工的零件作为成形毛坯予以单独保存。如图 3-15 所示，此毛坯已经过部分加工，称为零件模型。可通过导出零件模型功能予以保存。

单击菜单“文件”→“ 导出零件模型”，系统弹出“另存为”对话框。在对话框中输入文件名，按“保存”按钮，此零件模型即被保存。该零件模型可在以后需要时被调用。文件的后缀名为“PRT”，注意不要更改后缀名。

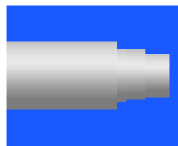


图 3-15　导出零件模型

4. 放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件”命令，或者在工具条上选择图标“”，系统弹出“选择零件”对话框，如图 3-16 所示。



图 3-16　“选择零件”对话框

在列表中单击所需的零件，选中的零件信息加亮显示，按下“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

如果进行过“导入零件模型”的操作，对话框的零件列表中会显示模型文件名；若在类型列表中选择“选择模型”，则可以选择导入零件模型文件。

5. 零件位置调整

零件可以在卡盘上移动。毛坯放上卡盘后，系统将自动弹出一个小键盘，如图 3-17 所示。通过按动小键盘上的方向按钮，实现零件的平移或零件调头。小键盘上的“退出”按钮用于关闭小键盘。单击菜单“零件”→“移动零件”也可以打开小键盘。注意在执行其他操作前关闭小键盘。



图 3-17　零件位置调整小键盘

3.2　数控铣床及加工中心环境构建

3.2.1　数控铣床及加工中心的选择

单击菜单“机床”→“选择机床 ...”，弹出“选择机床”对话框。在“选择机床”对话框中选择控制系统类型和相应的机床并按“确定”按钮，此时对话框如图 3-18 右图所示。

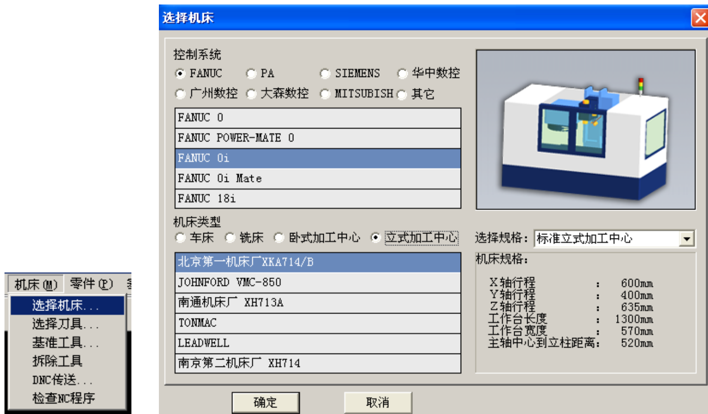


图 3-18　选择机床类型

如选择控制系统 FANUC 0i 和立式加工中心，机床选择北京第一机床厂 XKA714/B，按“确定”按钮，系统即可切换到立式加工中心仿真系统对话框，如图 3-19 所示。

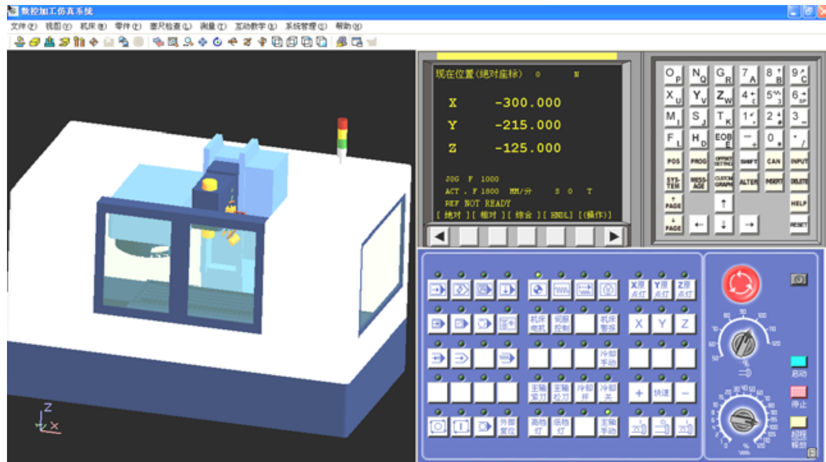


图 3-19　宇龙 4.2 版仿真系统 FANUC 0i 立式加工中心仿真系统对话框

3.2.2　数控铣床及加工中心面板

数控铣床及加工中心的操作面板主要包括 MDI 键盘和机床操作面板两部分。其中，MDI 键盘主要用于程序编辑、参数设置等；而机床操作面板主要用于对机床进行调整和控制。上海宇龙软件公司提供的 FANUC 0i 立式加工中心面板如图 3−20 所示。上半部分是 MDI 键盘，下半部分是机床操作面板。MDI 键盘上各个键的功能与数控车床一致，参见表 3−1。FANUC 0i 立式加工中心操作面板功能与数控车床基本相同，参见表 3−2。



图 3−20　北京第一机床厂 XK714/B 立式加工中心面板

3.2.3　数控铣床及加工中心的基本操作

1. 开机

1）单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

2）检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

2. 回参考点

1）检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

2）在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，

使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

3. **机床位置对话框**

单击进入坐标位置对话框。单击菜单软键[相对]、[绝对]、[综合]，弹出相应相对坐标对话框(图 3-21)、绝对坐标对话框(图 3-22)、和综合坐标对话框(图 3-23)。

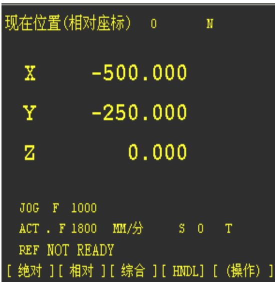


图 3-21　相对坐标对话框

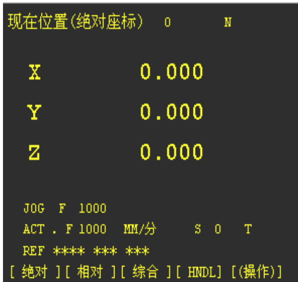


图 3-22　绝对坐标对话框

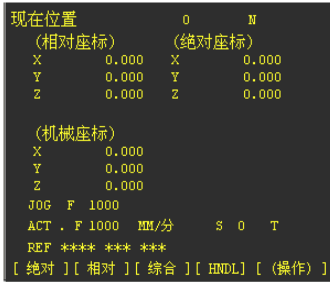


图 3-23　综合坐标对话框

4. **程序管理**

FANUC 0i 立式铣床/加工中心程序管理与数控车床相同，可以参见 3.1.3 节内容。

5. **MDI 方式**

FANUC 0i 立式铣床/加工中心 MDI 方式与数控车床相同，可以参见 3.1.3 节内容。

6. **手动方式**

FANUC 0i 立式铣床/加工中心手动方式与数控车床相同，可以参见 3.1.3 节内容。

7. **自动加工方式**

FANUC 0i 立式铣床/加工中心自动方式与数控车床相同，可以参见 3.1.3 节内容。

8. **检查运行轨迹**

FANUC 0i 立式铣床/加工中心检查运行轨迹与数控车床相同，可以参见 3.1.3 节内容。

3.2.4　铣刀的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具”，或者在工具条中选择“”图标，系统弹出“选择铣刀”对话框，如图 3-24 所示。

1. **按条件列出工具清单**

筛选的条件是直径和类型。

1）在“所需刀具直径”输入框内输入直径，如果不把直径作为筛选条件，请输入数字“0”。

2）在“所需刀具类型”选择列表中选择刀具类型。可供选择的刀具类型有平底刀、平底带 R 刀、球头刀、钻头、镗刀等。

3）按下“确定”按钮，符合条件的刀具在“可选刀具”列表中显示。

2. **指定刀位号**

“选择铣刀”对话框下半部中的序号是刀库的刀位号。卧式加工中心允许同时选择 20 把刀具；立式加工中心允许同时选择 24 把刀具。对于铣床，对话框中只有 1 号刀位可以使用。用鼠标单击“已经选择的刀具”列表中的序号制定刀位号。



图 3-24 “选择铣刀”对话框

3. **选择需要的刀具**

指定刀位号后，再用鼠标单击“可选刀具”列表中的所需刀具，选中的刀具对应显示在“已经选择的刀具”列表中选中的刀位号所在行。

4. **输入刀柄参数**

操作者可以按需要输入刀柄参数。参数有直径和长度两个。总长度是刀柄长度与刀具长度之和。

5. **删除当前刀具**

单击“删除当前刀具”键可删除此时“已选择的刀具”列表中光标所在行的刀具。

6. **确认选刀**

选择完全部刀具，按“确认”键完成选刀操作；或者按“取消”键退出选刀操作。

加工中心的刀具在刀库中，如果在选择刀具的操作中同时要指定某把刀安装到主轴上，可以先用光标选中，然后单击“添加到主轴”按钮。铣床的刀具自动装到主轴上。

3.2.5　数控铣床及加工中心工件的定义和装夹

1. **定义毛坯**

单击菜单“零件”→“定义毛坯”，或者在工具条上选择“ ”，系统弹出图 3-25、图 3-26 所示对话框。

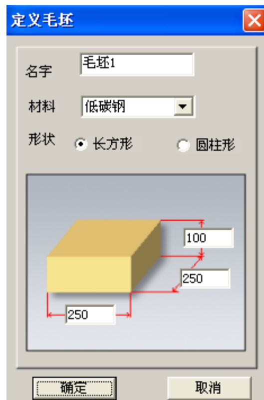


图 3-25　长方形毛坯定义

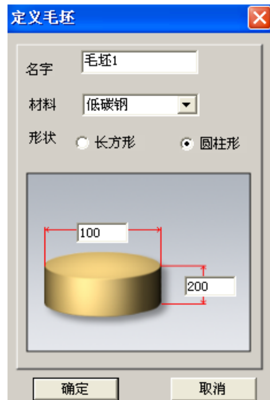


图 3-26　圆柱形毛坯定义

（1）名字输入

在毛坯“名字”输入框内输入毛坯名，也可使用默认值。

（2）选择毛坯材料

毛坯“材料”列表框中提供了多种供加工的毛坯材料，可根据需要在“材料”下拉列表中选择毛坯材料。

（3）选择毛坯形状

铣床及加工中心提供长方形毛坯和圆柱形毛坯。

（4）参数输入

尺寸输入框用于输入尺寸，单位为 mm。

（5）保存退出

单击“确定”按钮，保存定义的毛坯并且退出本操作。

2. 取消退出

单击“取消”按钮，退出本操作。

3. 导入零件模型

FANUC 0i 立式铣床/加工中心导入零件模型与数控车床相同，可以参见 3.1.5 节内容。

4. 导出零件模型

FANUC 0i 立式铣床/加工中心导入零件模型与数控车床相同，可以参见 3.1.5 节内容。

5. 选择夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具”命令，或者在工具条上选择图标“”，打开“选择夹具”对话框，如图 3-27 所示。

首先在“选择零件”列表框中选择毛坯，然后在“选择夹具”列表框中选择夹具，长方体零件可以使用工艺板或平口钳，圆柱形零件可以选择工艺板或卡盘。

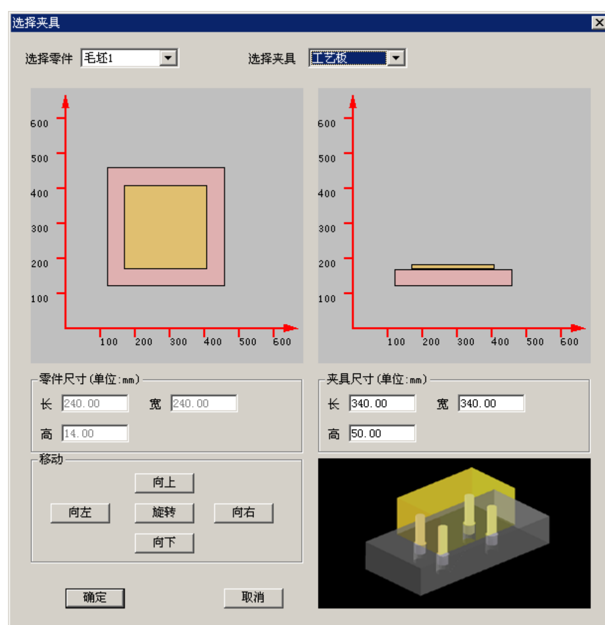


图 3-27 “选择夹具”对话框

“夹具尺寸”输入框显示的是系统提供的尺寸，用户可以修改工艺板的尺寸。

各个方向的移动按钮供操作者调整毛坯在夹具上的位置。

铣床和加工中心也可以不使用夹具，让工件直接放在机床台面上。

6. 放置零件

单击菜单“零件/放置零件”命令，或者在工具条上选择图标“”，系统弹出“选择零件”对话框，如图 3-28 所示。在列表中单击所需的零件，选中的零件信息加亮显示，单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。卧式加工中心还可以在对话框中选择是否使用角尺板。如果选择了使用角尺板，那么在放置零件时，角尺板同时出现在机床台面上。

如果进行过“导入零件模型”的操作，对话框的零件列表中会显示模型文件名，若在类型列表中选择“选择模型”，则可以选择导入零件模型文件。

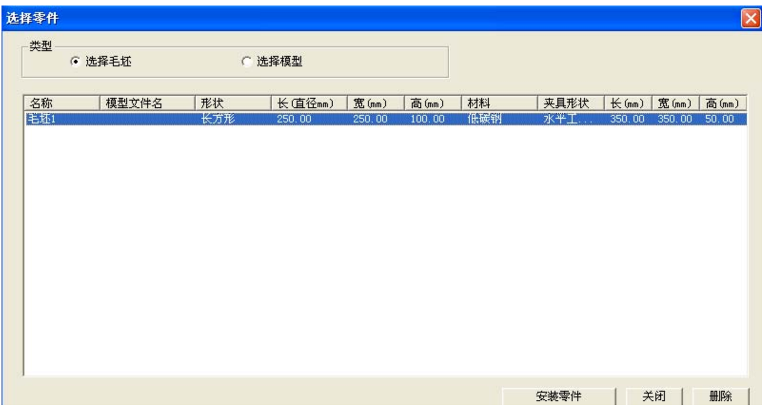


图 3-28　“选择零件”对话框

7. 零件位置调整

零件可以在工作台面上移动。毛坯放上工作台后，系统将自动弹出一个小键盘，如图 3-29 所示。通过按动小键盘上的方向按钮，实现零件的平移或旋转。小键盘上的“退出”按钮用于关闭小键盘。单击菜单“零件”→“移动零件”也可以打开小键盘。注意在执行其他操作前关闭小键盘。

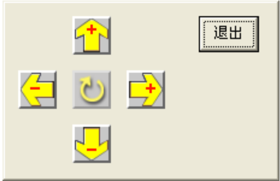


图 3-29　零件位置调整小键盘

8. 压板的使用

当使用工艺板或者不使用夹具时，可以使用压板。

（1）安装压板

单击菜单“零件”→“安装压板”，系统弹出“选择压板”对话框，如图 3-30 所示。

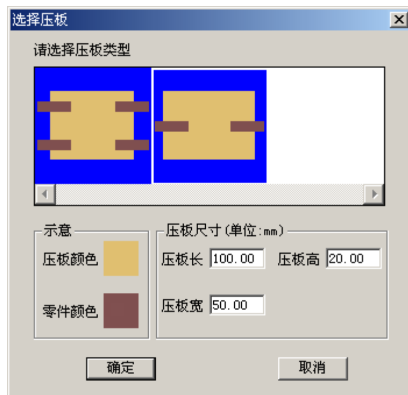


图 3-30 “选择压板”对话框

对话框中列出各种安装方案，可以拉动滚动条浏览全部许可的方案，然后选择所需要的安装方案，单击“确定”按钮，压板将出现在台面上。

在“压板尺寸”中可更改压板长、高、宽。范围：长 30～100mm；高 10～20mm；宽 10～50mm。

（2）移动压板

单击菜单“零件”→“移动压板”，系统弹出小键盘，操作者可以根据需要平移压板，但是不能旋转压板。首先用鼠标选择需要移动的压板，被选中的压板变成灰色；然后按动小键盘中的方向按钮操纵压板移动，如图 3-31 所示。

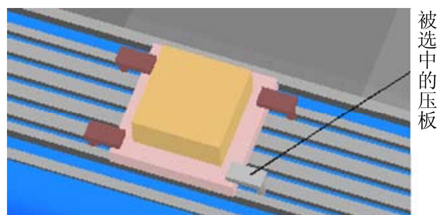


图 3-31 移动压板

（3）拆除压板

单击菜单“零件”→“拆除压板”，将拆除全部压板。

第 4 章　宇龙 4.2 刀具轨迹仿真

宇龙 4.2 刀具轨迹仿真是项非常重要的功能，本章围绕数控车床、数控铣床及加工中心来介绍。

4.1　数控车床对刀操作

4.1.1　G54～G59 参数设置方法

在 MDI 键盘上单击OFFSET SETTING键，单击菜单软键[坐标系]进入坐标系参数设定对话框。输入“0x”，（01 表示 G54，02 表示 G55，以此类推），按菜单软键[NO 检索]，光标停留在选定的坐标系参数设定区域，如图 4-1 所示。

也可以用方位键↑↓←→选择所需的坐标系和坐标轴。利用 MDI 键盘输入通过对刀所得到的工件坐标原点在机床坐标系中的坐标值。如通过对刀得到的工件坐标原点在机床坐标系中的坐标值（如−500，−404），则首先将光标移到 G54 坐标系 X 的位置，在 MDI 键盘上输入“−500.00”，按菜单软键[输入]或按INPUT键，参数输入到指定区域，按CAN键可逐个字符删除输入域中的字符。单击↓键，将光标移到 Z 的位置，输入“−404.000”，按菜单软键[输入]或按INPUT键，参数输入到指定区域。此时 CRT 对话框如图 4-2 所示。

注：X 坐标值为−100，需输入“X−100.00”；若输入“X−100”，则系统默认为−0.100。可以在“系统管理\系统设置”中设置单位的默认。

如果按软键[+输入]，键入的数值将和原有的数值相加以后输入。



图 4-1　坐标系参数设定对话框



图 4-2　坐标系参数设定后对话框

4.1.2 刀具补偿参数

车床的刀具补偿参数包括刀具的磨损量补偿参数和形状补偿参数，两者之和构成车刀偏置量补偿参数。

1. 输入磨耗量补偿参数

刀具使用一段时间后磨损，会使产品尺寸产生误差，因此需要对刀具设定磨损量补偿。步骤如下：

1）在 MDI 键盘上单击OFFSET SETTING键，进入磨损量补偿参数对话框，如图 4-3 所示。

2）用方位键↑↓选择所需的番号，并用←→键确定所需补偿的值。

3）单击数字键，输入补偿值到输入域。

4）按菜单软键[输入]或INPUT键，参数输入到指定区域；按CAN键逐字删除输入域中的字符。

2. 输入形状补偿参数

刀具形状补偿参数设置步骤如下：

1）在 MDI 键盘上单击OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，如图 4-4 所示。

2）用方位键↑↓选择所需的番号，并用←→确定所需补偿的值。

3）单击数字键，输入补偿值到输入域。

4）按菜单软键[输入]或INPUT键，参数输入到指定区域；按CAN键逐字删除输入域中的字符。



图 4-3 磨损量补偿参数对话框

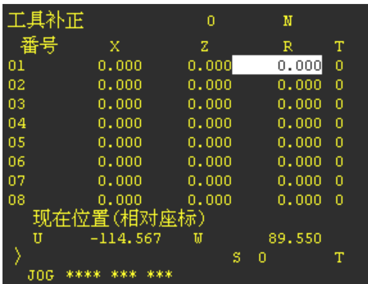


图 4-4 形状补偿参数对话框

3. 输入刀尖圆弧半径和方位号

在需要用刀尖圆弧半径补偿时，需要设置刀尖圆弧半径 R 和刀尖方位号 T，分别把光标移到 R 和 T，按数字键输入半径或方位号，按菜单软键[输入]完成操作。

4.1.3　试切法设置 G54～G59

编制数控程序采用工件坐标系，对刀的过程就是建立工件坐标系与机床坐标系之间关系的过程。

下面具体说明车床对刀的方法，直接输入工件坐标系 G54～G59。其中将工件右端面中心点设为工件坐标系原点。

1. 切削外圆

单击操作面板上的手动按钮，手动状态指示灯变亮，机床进入手动操作模式；单击控制面板上的 X 按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击 + 或 −，使机床在 X 轴方向移动；同样使机床在 Z 轴方向移动。通过手动方式将机床移到图 4-5 所示的大致位置。

单击操作面板上的或按钮，使其指示灯变亮，主轴转动。再单击 Z 轴方向选择按钮 Z，使 Z 轴方向指示灯变亮，单击 −，用所选刀具来试切工件外圆，如图 4-6 所示。然后按 + 按钮，X 方向保持不动，刀具退出。

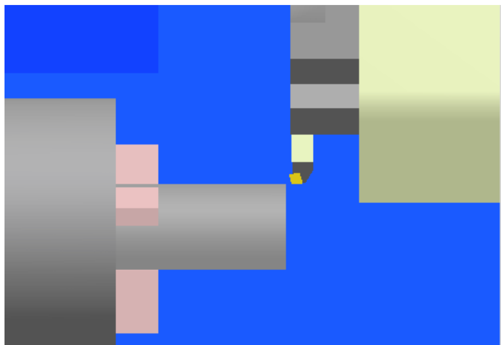


图 4-5　试切外圆准备

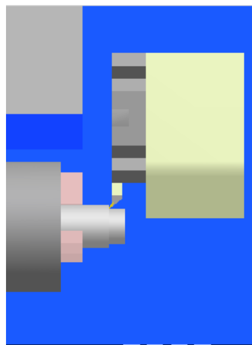


图 4-6　试切外圆

测量切削位置的直径：单击操作面板上的按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，弹出“车床工件测量”对话框，如图 4-7 所示。单击试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色。记下下半部对话框中对应的 X 值，即直径。

按下控制箱键盘上的 OFFSET SETTING 键，把光标定位在需要设定的坐标系上，光标移到 X，输入直径值，按菜单软键[测量]。

2. 切削端面

单击操作面板上的或按钮，使其指示灯变亮，主轴转动。将刀具移至图 4-8 所示位置，单击控制面板上的 X 按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击 − 按

钮，切削工件端面，如图 4-9 所示。然后按按钮，Z 方向保持不动，刀具退出。

单击操作面板上的主轴停止按钮，使主轴停止转动。把光标定位在需要设定的坐标系上。在 MDI 键盘面板上按下需要设定的轴“Z”键，输入工件坐标系原点的距离（注意距离有正负号）。按菜单软键[测量]，自动计算出坐标值填入。

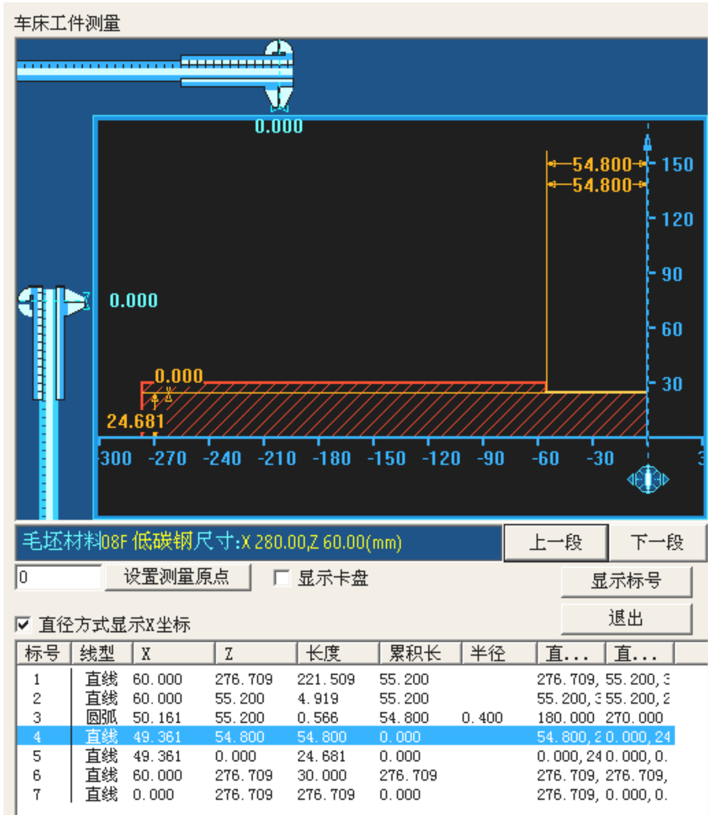


图 4-7　测量试切直径

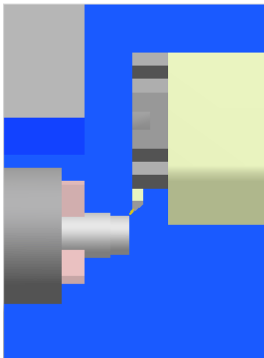


图 4-8　试切端面准备

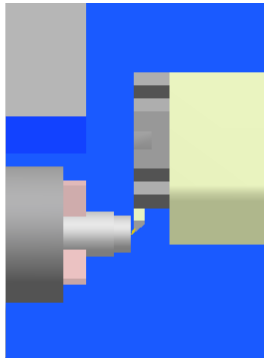


图 4-9　试切端面

4.1.4　试切法设置刀具补偿参数

在数控车床操作中经常通过设置刀具偏移的方法对刀，如图 4-10 所示。但是在使用这个方法时不能使用 G54～G59 设置工件坐标系。G54～G59 的各个参数值均设为 0。



图 4-10　刀具形状补偿参数

1. 切削外圆

1）用所选刀具试切工件外圆，单击“主轴停止”按钮，使主轴停止转动；单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径，记为 α。

2）保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入 Xα，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

2. 切削端面

1）试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0）。

2）保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入 Zβ，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

分别对其他刀具对刀，步骤与上面两步相同。

4.2　数控车床零件加工轨迹仿真检查

NC 程序导入后，可检查运行轨迹。

在控制面板上单击键，再单击 MDI 面板中键，程序执行转入检查运行轨迹模式；再单击操作面板上的按钮，即可观察数控程序的运行轨迹。此时也

可通过“视图”菜单中的“动态旋转”、“动态放缩”、“动态平移”等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察，



检查运行轨迹时，暂停运行、停止运行、单段执行等同样有效。

4.3　数控铣床及加工中心对刀操作

4.3.1　刀具半径补偿参数

FANUC 0i 的刀具半径补偿参数包括形状半径补偿和磨耗半径补偿。设置步骤如下：

1）在 MDI 键盘上单击OFFSET SETTING键，进入参数补偿设定对话框，如图 4-11 所示。

2）用方位键↑↓选择所需的番号，并用←→确定需要设定的直径补偿是形状补偿还是磨耗补偿，将光标移到相应的区域。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入刀尖直径补偿参数。

4）按菜单软键[输入]或按INPUT键，参数输入到指定区域。按CAN键逐个字符删除输入域中的字符。

注：直径补偿参数若为 4mm，在输入时需输入“4.000”，如果只输入“4”，则系统默认为“0.004”。可以单击“系统管理”→“系统设置”，设置选项为“没有小数点的数以千分之一毫米为单位”。



图 4-11　刀具半径补偿对话框

4.3.2　刀具长度补偿参数

长度补偿参数在刀具表中按需要输入。FANUC 0i 的刀具长度补偿参数包括

形状长度补偿和磨耗长度补偿。设置步骤如下：

1）在 MDI 键盘上单击键，进入参数补偿设定对话框，如图 4-12 所示。

2）用方位键↑↓←→选择所需的番号，并确定需要设定的长度补偿是形状补偿还是磨耗补偿，将光标移到相应的区域。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入刀具长度补偿参数。

4）按软键[输入]或按键，参数输入到指定区域；按键逐个字符删除输入域中的字符。



图 4-12　刀具长度补偿对话框

4.3.3　对刀的方法

下面将具体说明立式加工中心对刀的方法。将工件上表面中心点设为工件坐标系原点。

立式加工中心在选择刀具后，刀具被放置在刀架上。对刀时，首先要使用基准工具在 X、Y 轴方向对刀，再拆除基准工具，将所需刀具装载在主轴上，在 Z 轴方向对刀。

1．X、Y 轴方向对刀

（1）刚性靠棒 X、Y 对刀

刚性靠棒采用检查塞尺松紧的方式对刀，X 轴方向对刀步骤如下（采用将零件放置在基准工具左侧的方式）：

1）单击菜单“机床”→“基准工具…”，弹出“基准工具”对话框。对话框左边是刚性靠棒基准工具，右边的是寻边器，如图 4-13 所示。

2）单击操作面板中的“手动”按钮，手动状态灯亮，进入“手动”方式。

3）单击 MDI 键盘上的，使 CRT 对话框上显示坐标值；借助“视图”菜单中的“动态旋转”、“动态放缩”、“动态平移”等工具，适当单击X、Y、Z按

钮和[+]、[-]按钮，将机床移动到图 4-14 所示的大致位置。

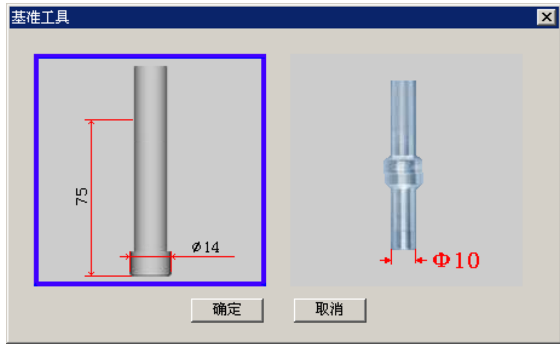


图 4-13　“基准工具”对话框

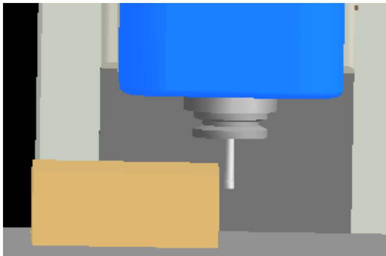


图 4-14　X 向对刀

4）移动到大致位置后，可以采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查/1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺。在机床下方显示图 4-15 所示的局部放大图（紧贴零件的红色物件为塞尺）。

5）单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击，显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 4-15 所示。

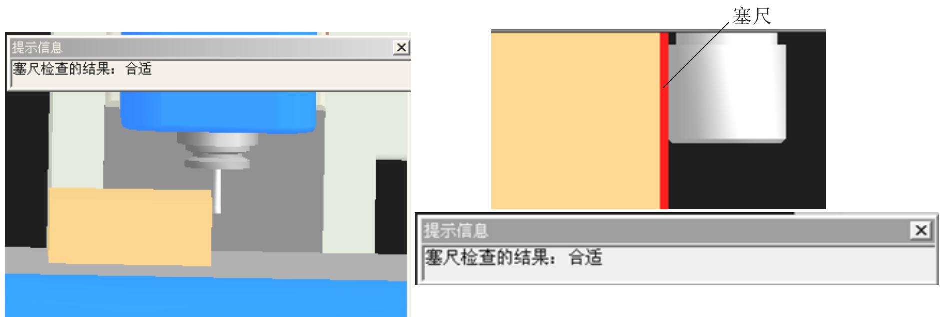


图 4-15　塞尺检查

6）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 对话框中的 X 坐标值，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X_1；将定义毛坯数据时设定的零件的长度记为 X_2；将塞尺厚度记为 X_3；将基准工件直径记为 X_4（可在选择基准工具时读出），则工件上表面中心 X 的坐标为

$$X= X_1- X_2/2- X_3/2- X_4/2$$

Y 方向对刀采用同样的方法。得到工件中心的 Y 坐标记为 Y。

将上述 X、Y 值输入 G54 的 X、Y 坐标，设置图 4-16 所示对话框，完成 X、Y 方向对刀。



图 4-16　G54 设定

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”将塞尺收回，单击“手动”按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击 Z 和 + 按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具”拆除基准工具。



注意

塞尺有各种不同尺寸，可以根据需要调用。本系统提供的塞尺尺寸有 0.05mm、0.1mm、0.2mm、1mm、2mm、3mm、100mm（量块）。

（2）寻边器 X、Y 轴对刀

寻边器由固定端和测量端两部分组成。固定端由刀具夹头夹持在机床主轴上，中心线与主轴轴线重合。测量时，主轴以 400r/min 旋转。通过手动方式，使寻边器向工件基准面移动靠近，让测量端接触基准面。在测量端未接触工件时，固定端与测量端的中心线不重合，两者呈偏心状态。当测量端与工件接触后，偏心距减小，这时使用点动方式或手轮方式微调进给，寻边器继续向工件移动，偏心距逐渐减小。当测量端和固定端的中心线重合的瞬间，测量端会明显地偏出，出现明显的偏心状态，这时主轴中心位置与工件基准面的距离等于测量端的半径。

X 轴方向对刀步骤：

1）单击操作面板的“手动”按钮，手动灯亮，系统进入“手动”方式。

2）单击 MDI 键盘上的 POS 键，使 CRT 对话框显示坐标值；借助“视图”菜单中的“动态旋转”、“动态放缩”、“动态平移”等工具，并单击操作面板上的 X、Y、Z 和 +、- 按钮，将机床移动到合适的位置。

3）在手动状态下，单击操作面板上的或按钮，使主轴转动。未与工件

接触时，寻边器测量端大幅度晃动。

4）移动到大致位置后，可采用手动脉冲方式移动机床，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮。采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮控制面板，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动寻边器。寻边器测量端晃动幅度逐渐减小，直至固定端与测量端的中心线重合，如图 4−17 所示。若此时用增量或手轮方式以最小脉冲当量进给，寻边器的测量端突然大幅度偏移，如图 4−18 所示，即认为此时寻边器与工件恰好吻合。

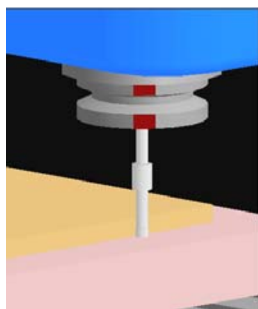


图 4−17　寻边器 X 向对刀

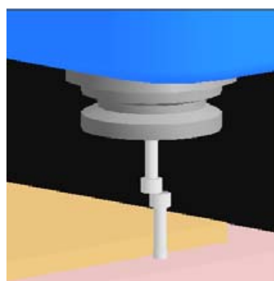


图 4−18　寻边器与工件恰好吻合瞬间

5）记下寻边器与工件恰好吻合时 CRT 对话框中的 X 坐标，此为与工件恰好吻合基准工具中心的 X 坐标，记为 X_1；将定义毛坯数据时设定的零件的长度记为 X_2；将基准工件直径记为 X_3（可在选择基准工具时读出），则工件上表面中心 X 的坐标为

$$X= X_1- X_2/2- X_3/2$$

Y 方向对刀采用同样的方法，得到工件中心的 Y 坐标记为 Y。

将上述 X、Y 值输入 G54 的 X、Y 坐标，设置图 4−16 所示对话框，完成 X、Y 方向对刀。

完成 X、Y 方向对刀后，单击和按钮，将 Z 轴提起，停止主轴转动，再单击菜单“机床”→“拆除工具”拆除基准工具。

2. Z 轴对刀

（1）塞尺法 Z 轴对刀

立式加工中心 Z 轴对刀时采用实际加工时所要使用的刀具。塞尺法 Z 轴对刀步骤如下：

1）单击菜单“机床”→“选择刀具”，或单击工具条上的小图标“”，选择所需刀具。

2）装好刀具后，单击操作面板中的“手动”按钮，手动状态指示灯亮，

系统进入“手动”方式。

3）利用操作面板上的X、Y、Z按钮和+，-按钮，将机床移到图 4-19 所示的大致位置。

4）类似在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z1，如图 4-20 所示。则坐标值为 Z1 减去塞尺厚度后数值为 Z 坐标原点，此时工件坐标系在工件上表面。

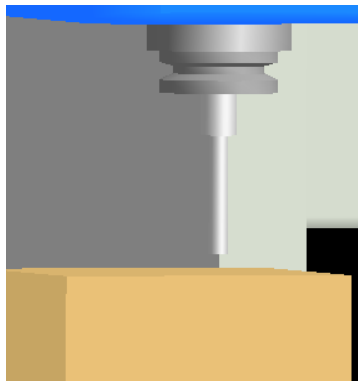


图 4-19　Z 向对刀

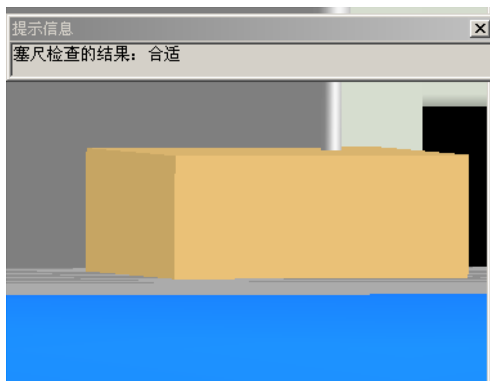


图 4-20　塞尺检查

5）通过将对刀得到的 Z 值输入到图 4-21 所示刀具长度补偿对话框，完成此刀具的 Z 轴对刀，其他刀具可按照上面的方法完成 Z 轴对刀。



图 4-21　刀具长度补偿对话框

（2）试切法 Z 轴对刀

试切法 Z 轴对刀步骤如下：

1）单击菜单“机床”→“选择刀具”，或单击工具条上的小图标“ ”，选择所需刀具。

2）装好刀具后，利用操作面板上的X、Y、Z按钮和+、-按钮，将机床

移到图 4-19 所示的大致位置。

3）打开菜单“视图”→“选项…”中的“声音开”和“铁屑开”选项。

4）单击操作面板上的按钮使主轴转动；单击操作面板上的Z和-按钮，切削零件的声音刚响起时停止，保证铣刀将切削小部分零件，记下此时 Z 的坐标值，记为 Z ××，此为工件表面一点处 Z 的坐标值。

5）通过将对刀得到的 Z 值输入到图 4-21 所示刀具长度补偿对话框，完成此刀具的 Z 轴对刀，其他刀具可按照上面的方法完成 Z 轴对刀。

4.4 数控铣床及加工中心零件加工轨迹仿真检查

NC 程序导入后，可检查运行轨迹。

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮，转入自动加工模式，单击 MDI 键盘上的PROG按钮，单击数字/字母键，输入“Ox”（x 为所需要检查运行轨迹的数控程序号），按↓开始搜索，找到后，程序显示在 CRT 对话框上。单击CUSTOM GRAPH按钮，进入检查运行轨迹模式，单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察。

第 5 章　宇龙 4.2 仿真加工验证与分析

宇龙 4.2 仿真加工后期阶段，经常需要进行验证与分析，本章对数控车床、数控铣床及加工中心的验证与分析功能做一具体介绍。

5.1　数控车床、铣床自动加工

5.1.1　自动/连续方式加工

1. 自动加工流程

1）检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。

2）导入数控程序或自行编写一段程序。

3）单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

4）单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。

2. 中断运行

数控程序在运行过程中可根据需要暂停、停止、急停和重新运行。

1）数控程序在运行时，按进给保持按钮，程序停止执行；再单击键，程序从暂停位置开始执行。

2）数控程序在运行时，按停止按钮，程序停止执行；再单击键，程序从开头重新执行。

3）数控程序在运行时，按下急停按钮，数控程序中断运行，继续运行时，先将急停按钮松开，再按按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。

5.1.2　自动/单段方式加工

自动/单段方式加工的执行步骤：

1）检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。

2）导入数控程序或自行编写的一段程序。

3）单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

4）单击操作面板上的单节按钮。

5）单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。



注意

1）自动/单段方式执行每一行程序均需单击一次循环启动按钮。

2）单击单节跳过按钮，则程序运行时跳过符号“/”有效，该行成为注释行，不执行。

3）单击选择性停止按钮，则程序中 M01 有效。

4）可以通过主轴倍率旋钮和进给倍率旋钮来调节主轴旋转速度和移动速度。按RESET键可将程序重置。

5.2 数控车床工件检测与分析

5.2.1 老师评分及检查

为了检查学生的零件加工情况，以便给予正确的评分，老师应以管理员身份登录数控加工仿真系统。在登录时，需要输入用户名：manage，密码：system。然后单击“互动教学”→“评分标准”菜单，如果没有安装工件则会出现图 5-1 所示提示对话框；如果有工件，将进入“评分标准”对话框。该对话框包括两个选项卡。第一张选项卡“评分标准”用来制订操作评分规则，如图 5-2 所示；第二张选项卡“车床工件”用来设定标准工件的尺寸，如图 5-3 所示。

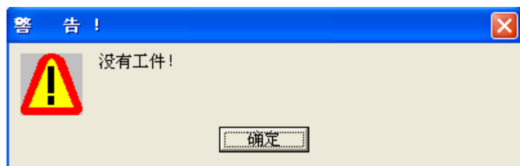


图 5-1　无工件提示

1. 操作扣分

宇龙 4.2 软件可以从操作的规程制订来考核考生的操作是否规范。如图 5-2 所示，可以设置考试时间及操作规程。

评分标准

评分标准 | 车床工件

总分：100 分　　考试时间：150 分钟

每超时 0 分钟，减 0 分　　☑ 超时 0 分钟自动收卷

工件质量：

工件类　○ 铣床工件　◉ 车床工件

操作规程：

减分上限：30 分

移动机床时产生碰撞每次扣 5 分　☑ 碰撞错误减分上限 15 分

安装刀具时产生的错误每次扣 1 分　☑ 刀具错误减分上限 5 分

安装零件时产生的错误每次扣 2 分　☑ 零件错误减分上限 4 分

更换零件每次扣 2 分　☐ 更换零件减分上限 6 分

保 存　　退 出

图 5-2　车床操作的评分标准

1）考试时间控制包含对考试时间的限制以及是否自动收卷、超时扣分情况。

2）操作规程主要在碰撞、安装刀具、安装零件、更换零件四个方面评判考生操作，在这 4 栏规程后面，均有各扣分上限，表示此项的扣分上限。例如操作机床产生一次碰撞提示后，扣分为所设置的数值，如多次碰撞，系统会自动扣除分数，但其最高扣分为所设置的减分上限值，其他减分上限类同。在操作规程中有个“减分上限”栏，表示该操作规程中的所有扣分上限值。该减分上限优先于以上 4 项减分上限的总和。如减分上限为 30 分，而操作规范的四项减分上限总和为 50 分，则系统扣分总数为 30。



注意

拥有“修改评分标准”权限的用户才能设置评分标准。

图 5-3　车削零件尺寸检查标准设置

2. **车床加工的工件质量检测设置**

设置车床评分标准前，老师应先按图样要求加工出“标准零件”，交卷时软件以“标准零件”上所设置的尺寸为每个考生的工件给予评分处理。老师以管理员的身份登录软件，随后选择机床进行标准工件的加工，加工完后依次单击菜单栏上的“互动教学”→“评分标准”，弹出“评分标准”对话框，然后单击“车床工件”选项卡，如图 5-4 所示。

（1）设置基准端面数据

进入“车床工件”选项卡后，首先要设置标准工件的端面数据，端面数据是为了将学生提交的零件和“标准零件”对齐。设置基准端面数据的方法如下：

1）在“端面数据”栏中，选择“端面编号”。端面编号分 1 号和 2 号，表示根据几个基准端面来测量（通常设定一个端面，1 号端面编号即可）。

2）选择端面类型，“端面类型”分为“直线”和“圆弧”，在此例中，选择“圆弧”。

3）用鼠标在右图单击将要设置的基准端面，使之呈黄色。

4）单击右边“添加 Z 轴测量数据”，在左下角处会显示 A 点及 B 点的坐标值和半径值。

5）将 A 点及 B 点的坐标值写到“端面数据”栏所对应“A 点”、“B 点”两栏中，再输入半径值，然后单击“保存”，即将此端面数据保存起来了。

在该例中进行此操作则将左侧端面设置成为基准端面。基准端面设置完后，则可以进行评分项的设定了，目前软件可提供对轴类零件的工件直径、相对距离、端面距离以及圆弧半径进行评定设置。

图 5-4　车削标准零件及检查标准

（2）设置测量工件直径

首先在左侧的“添加尺寸”栏中选择“工件直径”，然后用鼠标单击将要设置评分的外圆或内孔线段，最后单击右侧的“添加工件直径测量数据”，系统自动将数据添加到左侧的评分标准输入区域中。此时只需根据实际情况和要求设置偏差大小及减分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮，则该外圆直径将被设置成为评分项。“允许误差”表示 X、Z 方向上所设测定点的查找范围。

（3）设置测量相对距离

在左侧的“添加尺寸”栏中选中“相对距离”，然后用鼠标在右图中单击将要设置评分的外圆或内孔线段图，最后单击右侧的“添加 Z 轴测量数据”，系统自动将数据添加到左侧的评分标准输入区域中。此时只需根据需要设置偏差大小及减分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮，则该线段长度将被设置成为评分项。“允许误差”表示 X、Z 方向上所设测定点的查找范围。

（4）设置测量圆弧半径

在左侧的“添加尺寸”栏中选中“圆弧半径”，然后用鼠标单击将要设置的圆弧段，最后单击右侧的“添加 Z 轴测量数据”，系统自动将数据添加到左侧的评分标准输入区域中。此时只需根据需要设置偏差大小及减分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮，则该圆弧段将被设置成为评分项。“允许误差”表示 X、Z 方向上所设测定点的查找范围。

（5）设置测量端面距离

在左侧的“添加尺寸”栏中选中“端面距离”，然后用鼠标单击将要设置评分的端面，最后单击右侧的“添加 Z 轴测量数据”，系统自动将数据添加到左侧的评分标准输入区域中。此时只需根据需要设置偏差大小及减分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮，则该圆弧段将被设置成为评分项。“允许误差”表示 X、Z 方向上所设测定点的查找范围。

按照标准零件设置完评分规则后，单击“保存”按钮，然后单击“退出”按钮，则退出评分标准窗口。

5.2.2 学生自我检查及分析

除老师检查外，学生也可以对加工的工件进行自我检测。

选择“测量”菜单，然后选择下拉菜单中的“剖面图测量”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 5–5 所示。

对话框上半部分显示了车削零件的剖视图；下半部分显示了车削零件各线段的数据，每条线段包含以下内容：

（1）标号

标号是每条线段的编号，单击“标号”对应的数字，在对话框上半部分将显示出车削零件的线段，线段的尺寸变成黄色。

若需要显示每条线段的标号，可以选择“显示标号”，此时“标号”将在上半部分车削零件的剖视图中显示出来，此时，“显示标号”变换成“隐藏标号”，单击“隐藏标号”，则上半部分车削零件标号不显示。

（2）线型

线型包含直线和圆弧，如果线段是椭圆等非直线和圆弧，在线型里会显示出

许多直线段。

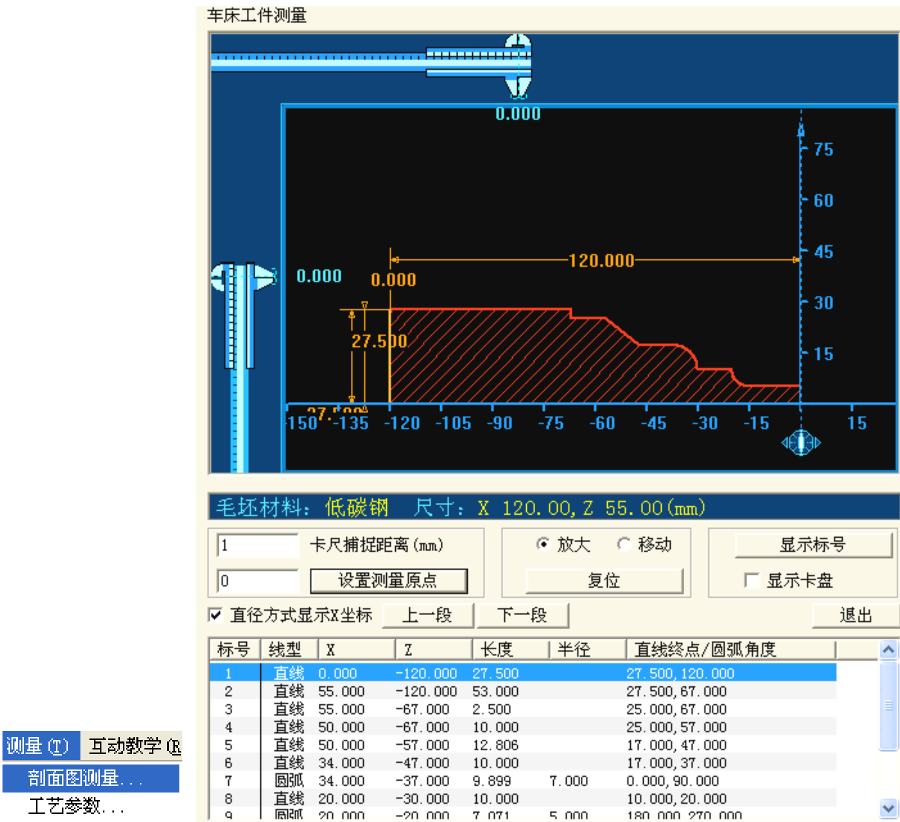


图 5-5　车削零件尺寸检查

（3）X

X 表示该零件的直径或半径值，选中“直径方式显示 X 坐标”，则 X 将显示直径，否则显示半径。

（4）Z

Z 表示该零件从左起点至右端的距离。

（5）长度

线型如果是直线，显示的是直线长度；如果是圆弧，长度则是圆弧的弧长。

（6）半径

线型如果是直线，不做任何提示；如果是圆弧，则显示圆弧的半径。

（7）直线终点/圆弧角度

线型如果是直线，显示的是直线终点坐标；如果是圆弧，则显示圆弧的角度。

5.3　数控铣床及加工中心工件检测与分析

5.3.1　老师评分及检查

1. 操作扣分

从铣床操作的规程制订来考核考生的操作是否规范。可以参见图 5-2 设置考试时间及操作规程。

2. 铣床加工的工件质量检测设置

设置铣床评分标准之前也同样应先按图样要求加工出“标准零件”，交卷时软件以“标准零件”上设置的尺寸为每个考生的工件给予评分处理。老师选择机床进行标准工件的加工，加工完后依次单击菜单栏上的“互动教学”→“评分标准”，弹出“评分标准”对话框，单击“铣床工件”选项卡进入图 5-6 所示对话框。

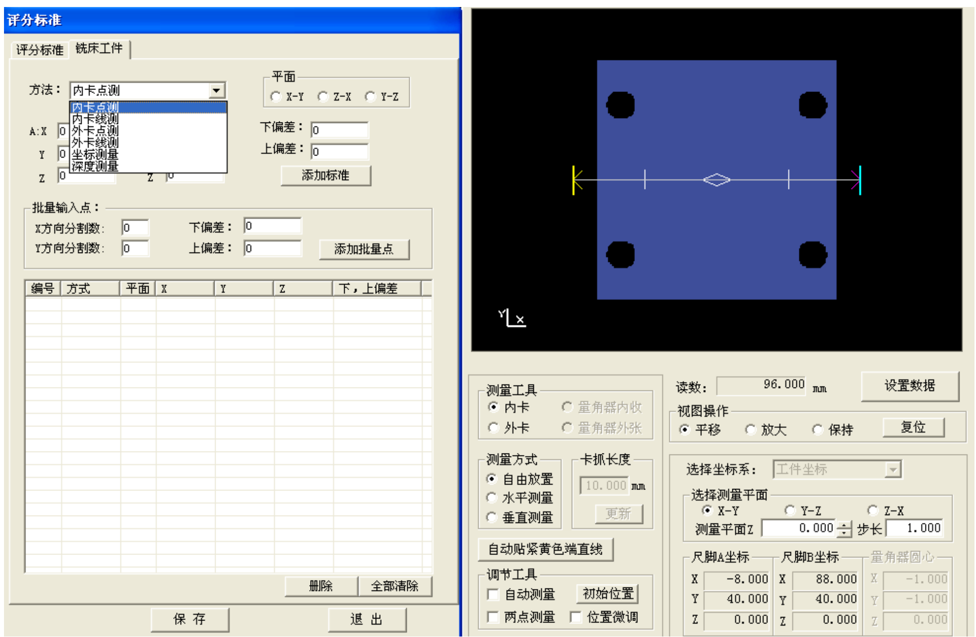


图 5-6　铣削标准零件及检查标准

进入“铣床工件”选项卡后就可以对标准工件进行评分项的设定了，目前宇龙 4.2 有自动输入测量尺寸和手动输入测量尺寸的方式。

（1）自动测量尺寸输入

宇龙 4.2 提供了内卡和外卡工具，通过测量剖面图可以对铣床零件尺寸进行

自动测量，测量方式有外卡线测、外卡点测、内卡线测、内卡点测，以此来设定评分标准。

1）外卡（内卡）线测。首先用鼠标选择所要测量的平面，并根据需要调节测量剖面的位置，然后用鼠标将卡尺大致移动到想要测量的那个位置，其次从“测量工具”中选择“外卡（内卡）”，以及根据实际需要选择测量方式（自由位置、水平测量、垂直测量），最后单击“调节工具”中的“自动测量”，系统自动按照所选测量方式将卡尺的两段贴近工件并在读数栏中显示出卡尺所测出的距离，如图 5-7 所示。

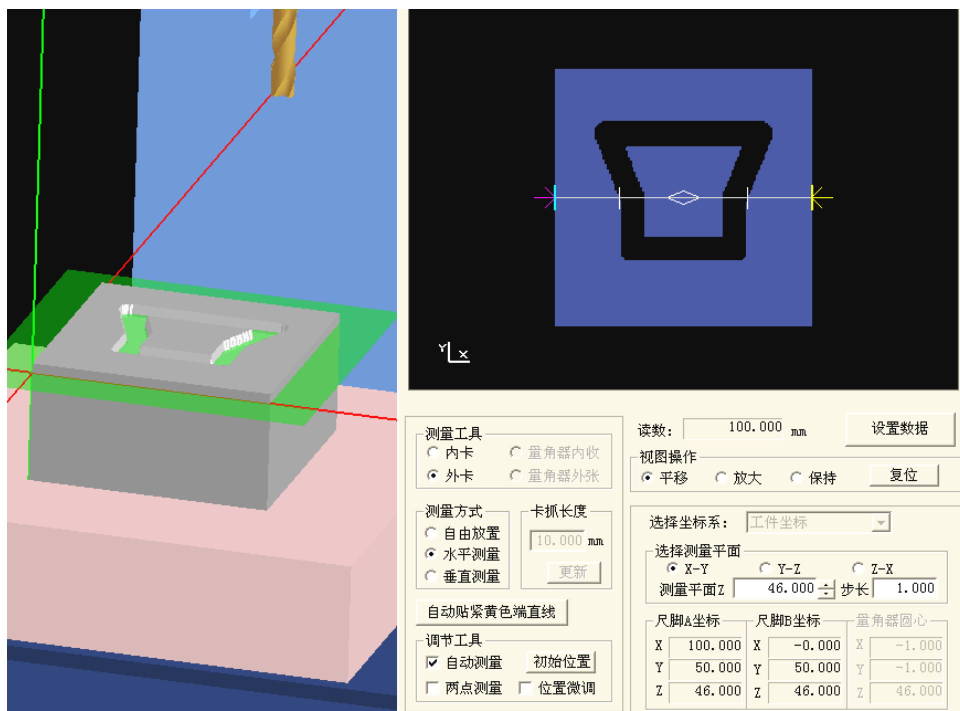


图 5-7　铣削标准零件外卡（内卡）线测

单击“设置数据”按钮，外卡线测数据就显示在左面框中，如图 5-8 所示。

2）外卡（内卡）点测。外卡（内卡）点测可用于测量某些由于卡尺卡爪长度的原因难以测量的位置。它的测量方法和外卡线测类似。用鼠标选择所要测量的平面并适当地调节测量剖面位置，然后用鼠标将卡尺大致移动到想要测量的那个位置，从“测量工具”中选择“外卡（内卡）”以及测量方式（自由测量、水平测量、垂直测量），选中“调节工具”中的“两点测量”并单击“自动测量”，系统自动将卡尺的两端点贴近工件并在读数栏中显示出卡尺所测出的距离，如图 5-9 所示。

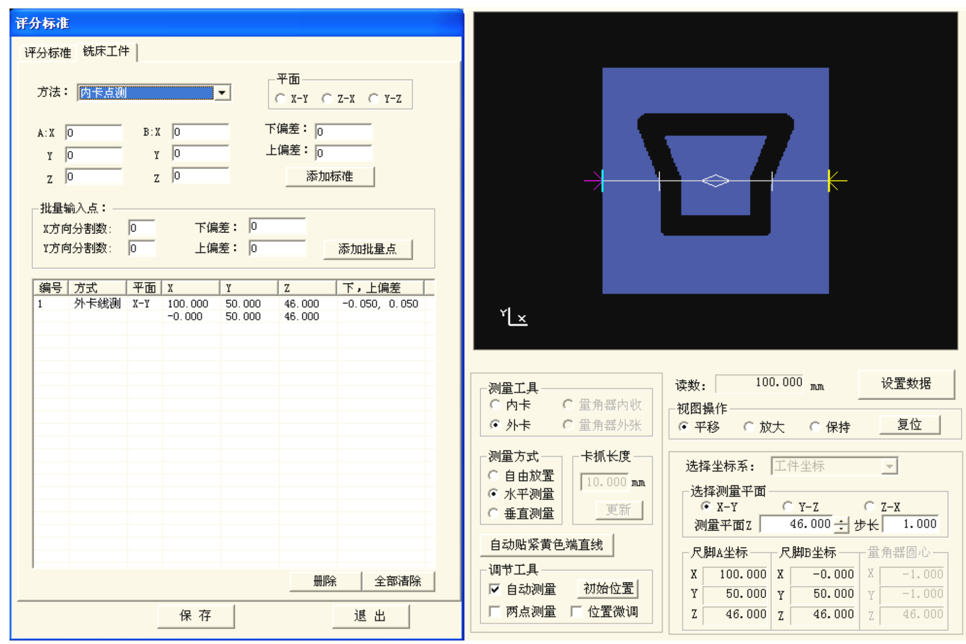


图 5-8　外卡（内卡）线测数据进入评分标准

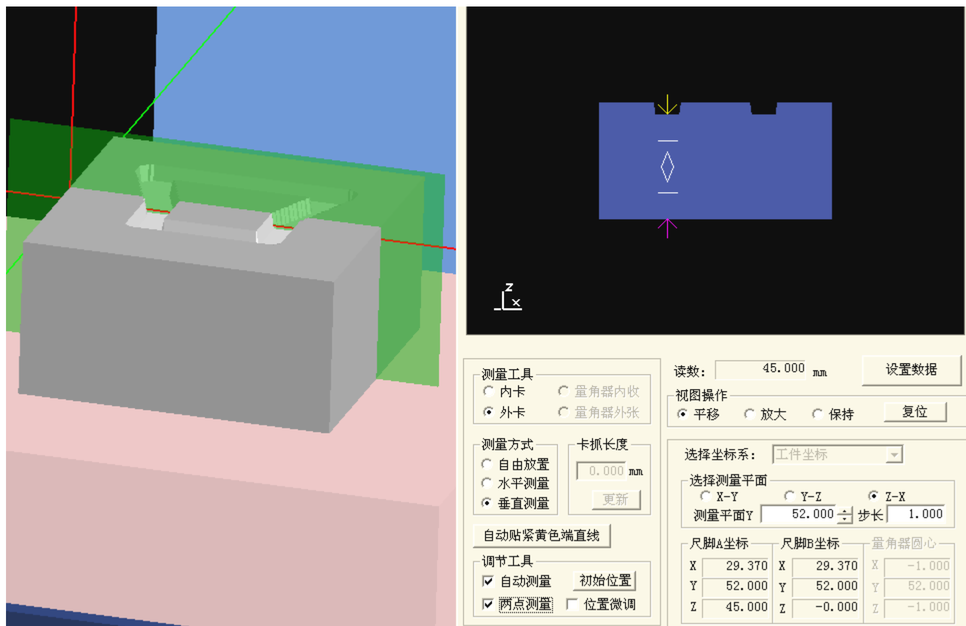


图 5-9　铣削标准零件外卡（内卡）点测

单击“设置数据”按钮，外卡点测数据就显示在左面框中，如图 5-10 所示。

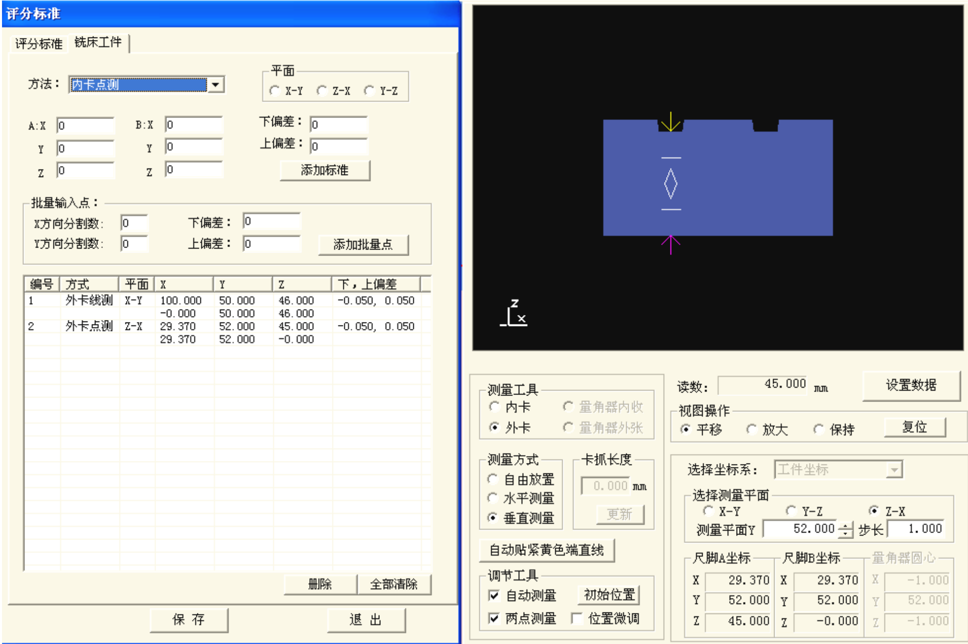


图 5-10　外卡（内卡）点测数据进入评分标准

（2）手动测量尺寸输入

宇龙 4.2 除了可以对测量图进行内卡、外卡的自动测量以外，还提供了手动设置测量的方式，包括外卡线测、外卡点测、坐标测量、深度测量等。

1）外卡（内卡）线测、外卡（内卡）点测的尺寸输入。从“方法”中选择相应的测量方式（内卡线测、内卡点测、外卡线测、外卡点测），随后从“平面”中选择所要测量的平面，在“A”、“B”两栏中输入卡尺的两端点坐标值以及上下的偏差值，最后单击“添加标准”即可。

2）坐标测量的输入。坐标测量表示考生提交的工件与从标准工件设定的某个点的坐标进行对比判断是否存在有该点。从“方法”中选择“坐标测量”，随后在“A”（所测量的点）栏中输入该点的坐标值，以及根据需要设置上、下偏差值，最后单击“添加标准”即可。

3）深度测量的输入。深度测量表示宇龙 4.2 会根据定点的 X、Y 位置来判断此处的 Z 方向的值是否到达。从“方法”中选择“深度测量”，然后在“A”栏中输入所需测量点的 XY 平面的位置，随后在上面和下面输入所要测的点 Z 向值以及根据需要设置上、下偏差值，最后单击“添加标准”即可。

4）批量测量点的输入。批量点简而言之就是将一个零件通过所设置的分割数将标准工件分割成（M+1）（N+1）个点，通过这些点来判断考生的工件是否

符合标准要求。此功能适合于设定曲面零件的评分尺寸。设置时只需在“X 方向分割数”和“Y 方向分割数”栏中输入具体分割值以及上、下偏差值，最后单击“添加批量点”即可，如图 5-11 所示。

评分标准

评分标准　铣床工件

方法：内卡点测　　平面　X-Y　Z-X　Y-Z

A:X 0　Y 0　Z 0　　B:X 0　Y 0　Z 0　　下偏差：0　上偏差：0　添加标准

批量输入点：
X方向分割数: 10　下偏差：-1
Y方向分割数: 5　上偏差：1　添加批量点

编号	方式	平面	X	Y	Z	下，上偏差
1	外卡线测	X-Y	100.000	50.000	46.000	-0.050, 0.050
			-0.000	50.000	46.000	
2	外卡点测	Z-X	29.370	52.000	45.000	-0.050, 0.050
			29.370	52.000	-0.000	
3	坐标测量		0.000	0.000	50.000	-1.000, 1.000
4	坐标测量		0.000	20.000	50.000	-1.000, 1.000
5	坐标测量		0.000	40.000	50.000	-1.000, 1.000
6	坐标测量		0.000	60.000	50.000	-1.000, 1.000
7	坐标测量		0.000	80.000	50.000	-1.000, 1.000
8	坐标测量		0.000	100.000	50.000	-1.000, 1.000
9	坐标测量		10.000	0.000	50.000	-1.000, 1.000
10	坐标测量		10.000	20.000	50.000	-1.000, 1.000
11	坐标测量		10.000	40.000	50.000	-1.000, 1.000
12	坐标测量		10.000	60.000	50.000	-1.000, 1.000
13	坐标测量		10.000	80.000	50.000	-1.000, 1.000
14	坐标测量		10.000	100.000	50.000	-1.000, 1.000
15	坐标测量		20.000	0.000	50.000	-1.000, 1.000
16	坐标测量		20.000	20.000	50.000	-1.000, 1.000
17	坐标测量		20.000	40.000	50.000	-1.000, 1.000
18	坐标测量		20.000	60.000	50.000	-1.000, 1.000

删除　全部清除

保 存　　退 出

图 5-11　批量点数据进入评分标准

注意

在手动测量尺寸输入时，所有输入的坐标值都必须以零件左下角为坐标系零点算起。

5.3.2　学生自我检查及分析

除老师检查外，学生也可以对加工的工件进行自我检测。

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量”，分别对相应的

尺寸进行检测，如图 5-12 所示。

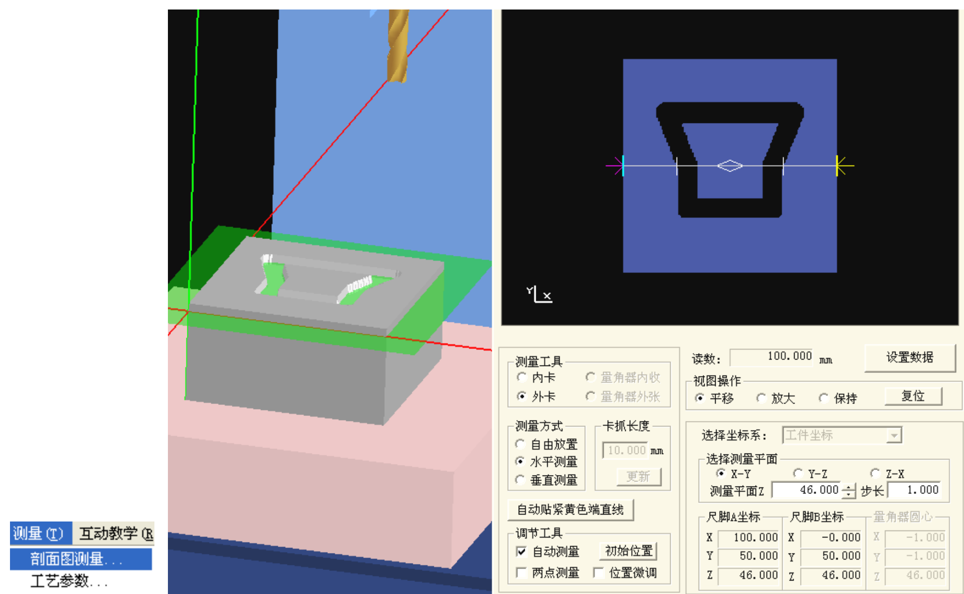


图 5-12　数控铣床及加工中心工件尺寸检查

测量时，首先应该选择一个平面，在机床视图中绿色透明面表示所选择的测量平面。对话框的上面显示的是截面形状。对话框中各选项的含义如下：

（1）选择坐标系

通过“选择坐标系”，可以选择机床坐标系、G54～G59、当前工件原点和工件坐标系几种不同坐标系显示坐标值。

（2）选择测量平面

可以根据需要选择想要测量的平面。三维工件中会使用一绿色平面（以下简称测量剖面）将所测的平面进行剖面显示，调节测量平面 Z（或测量平面 X、测量平面 Y）可以调节它的剖面显示，用户可以方便地使用卡尺来进行测量。测量平面主要有 X-Y 面、Y-Z 面和 Z-X 面；同时通过输入框旁边的上、下按钮移动测量位置，移动的步长通过右边的输入框设置。

（3）测量工具

可根据卡尺调节的位置自动测量工件的尺寸，主要有内卡、外卡。外卡测量是箭头由卡尺侧指向卡尺中心，测量时卡尺内收直到与零件接触，通常用于测量外轮廓；内卡测量是箭头由卡尺中心侧指向卡尺外侧，测量时卡尺外张直到与零件接触，通常用于测量内轮廓及内径。

（4）读数

显示卡爪之间的距离。

（5）测量方式

可以手动调节卡尺的位置，主要有水平测量、垂直测量和自由位置。水平测量是指卡尺在当前测量平面内保持水平；垂直测量是指卡尺在当前测量平面内保持垂直；自由位置是指卡尺可以由用户任意拖动。

（6）卡抓㊀长度

非点测时，可以修改卡爪长度，单击“更新”按钮时生效。

（7）调节工具

自动测量：自动计算卡尺两端点（或卡爪）之间的距离。

两点测量：选中该选项，卡爪长度变为 0，卡尺卡爪以点的方式来测量，简称点测。

位置微调：可以用鼠标拖动卡尺两端进行微调。

初始位置：单击该选项，卡尺位置恢复到初始状态。

（8）视图操作

视图操作可以对测量图进行放大、缩小以及复位。

（9）自动贴紧黄色端直线

在卡尺自由放置且非两点测量时，为了调节卡尺，使之与零件相切，系统提供了“自动贴紧黄色端直线”功能。单击该选项，卡尺的黄色端卡爪自动沿尺身方向移动直到碰到零件，然后尺身旋转使卡爪与零件相切，这时选择自动测量，可以得到工件轮廓线间的精确距离，防止自由放置卡尺时产生的角度误差导致测量误差。

㊀ 卡抓应为卡爪——编辑著。

第 6 章　宇龙 4.2 数控车床仿真实例

前面介绍了宇龙 4.2 仿真软件的基本操作、环境构建以及刀具轨迹仿真知识，使读者具备了数控仿真的基本技能后，从本章起开始仿真综合实例的介绍。首先介绍数控车床的仿真应用综合实例。

6.1　零件圆柱表面及端面的数控车削仿真加工

6.1.1　零件图样及信息分析

图 6-1 所示轴类零件，毛坯是 ϕ61mm×150mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面组成的简单回转体零件，而且零件的形状较简单，尺寸和表面精度要求都不高。

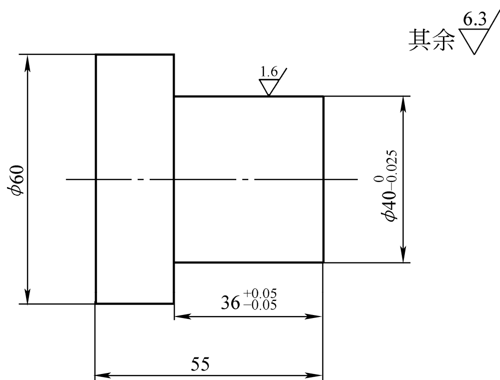


图 6-1　零件图

6.1.2　相关基础知识

1．**快速定位指令** G00

快速定位指令功能是控制刀具以点位控制的方式快速移动到目标位置。

格式：G00　X（U）__　Z（W）__

其中：

X、Z—— 刀具要到达的目标点的绝对值坐标；

U、W——刀具的目标点相对于前一点的增量坐标。

说明：

1）G00 指令只能用作刀具从一点到另一点的快速定位，不能加工，刀具在空行程移动时采用。它的移动速度不是由程序来设定，而是机床出厂时由生产厂家设置默认的。

2）G00 是模态指令，一旦前面程序指定了 G00，紧接后面的程序段可不再写，只需写出移动坐标即可。

3）G00 执行过程是刀具从某一点开始加速移动至最大速度，保持最大速度，最后减速到达终点。至于刀具快速移动的轨迹是一条直线还是一条折线，则由各坐标轴的脉冲当量来决定。

2. **直线插补指令** G01

直线插补指令的功能是刀具以程序中设定的进给速度，从某一点出发，直线移动到目标点。

格式：G01 X（U）__ Z（W）__ F__

其中：

X、Z——刀具要到达的目标点的绝对值坐标；

U、W——刀具的目标点相对于前一点的增量坐标；

F——刀具的进给速度。

说明：

1）G01 指令是在刀具加工直线轨迹时采用的，如车外圆、端面、内孔、切槽等。

2）机床执行直线插补指令时，程序段中必须有 F 指令。刀具移动的快慢由 F 后面的数值大小来决定。

3）G01 和 F 都是模态指令，前一段已指定，后面的程序段都可不再重写，只需写出移动坐标值。

如图 6-2 所示，加工直线 $A \rightarrow B$，程序可以写成：

图 6-2 直线插补实例

```
G01 X50.0 Z-50.0 F0.2;
G01 U20.0 W-50.0 F0.2;
G01 X50.0 W-50.0 F0.2;
G01 U20.0 Z-50.0 F0.2;
```

3. M **指令**

M00：程序暂停，可用 NC 启动命令（CYCLE START）使程序继续运行。

M01：计划暂停，与 M00 作用相似，但 M01 可以用机床“任选停止按钮”选择是否有效。

M03：主轴顺时针旋转。

M04：主轴逆时针旋转。

M05：主轴旋转停止。

M08：切削液开。

M09：切削液关。

M02：程序停止，光标停留在程序结束位置。

M30：程序停止，程序复位到起始位置。

4. 进给速度指令

进给速度指令的功能是指定刀具进给移动的快慢。它分为每转进给和每分钟进给两种方式。

（1）每转进给方式（G99）

格式：G99　F__

该指令表示在 G99 后面的 F 指定的是主轴转一转，刀具沿着进给方向移动的距离，单位是 mm/r。该指令为模态指令，在程序中指定后，直到 G98 被指定前一直有效。

（2）每分钟进给方式（G98）

格式：G98　F__

该指令表示在 G98 后面的 F 指定的是刀具每分钟移动的距离，单位是 mm/min。该指令也为模态指令，在程序中指定后，直到 G99 被指定前一直有效。

5. 主轴速度控制指令

主轴速度控制指令的功能是控制主轴速度的快慢。它分为恒转速控制和恒线速控制两种方式。

（1）恒转速控制（G97）

格式：G97　S__

该指令中的 S 指定的是主轴转速，单位为 r/min。此状态一般为数控车床的默认状态，在一般加工情况下都采用此种方式，特别是车削螺纹时，必须设置成恒转速控制方式。

例：G97　S1200 表示设定的主轴转速为 1200r/min。

（2）恒线速控制（G96）

格式：G96　S__

该指令中的 S 指定的是主轴的线速度，单位为 m/min。此指令一般在车削盘

类零件的端面或零件直径变化较大的情况下采用，这样可保证直径变化，但主轴的线速度不变，从而保证切削速度不变，使得工件表面的表面粗糙度保持一致。

例：G96　S250 表示设定的线速度控制在 250m/min。

（3）最高转速限制（G50）

格式：G50　S__

该指令中的 S 与 G97 中的 S 表示的一样，都是主轴转速大小。当采用 G96 方式加工零件时，线速度保持不变，但直径逐渐变小时，它的主轴转速会越来越高。为防止主轴转速太高，离心力过大，产生危险以及影响机床的使用寿命，采用此指令可限制主轴的最高转速。此指令一般与 G96 配合使用。

例：G50　S2000 表示最高转速限制在 2000 r/min。

6. **刀具控制指令**（T××××）

刀具控制指令的功能用于选择所需相应的刀具。加工工件时，需用多把刀具，就必须根据工件加工顺序给每把刀具赋予一个编号，在程序中不同的编号就对应选择相应的刀具。

格式：T××××

其中：

T 后面的数值表示所选择的刀具号码。一般数控车床 T 后面用四位数字表示，前两位是刀具号，后两位是刀具补偿号。

说明：

1）刀具号与刀具补偿号可对应标注，如 T0101，该把刀具用完后一定要取消刀补，应表示为 T0100。

2）后两位的刀具补偿号只是补偿值的寄存器地址号，而不是补偿值。补偿包括的长度补偿和刀尖圆弧半径补偿只能在刀补参数表中输入或查询。

6.1.3　加工方法

1. **确定零件装夹方式**

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端，一次装夹完成粗、精加工。

2. **确定加工顺序及进给路线**

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 0.5mm。

2）从右至左连续精加工各表面，达到加工要求并切断。

3. **刀具选择**

根据加工要求，选用 3 把刀具，T01 为 93°外圆粗车车刀；T02 为 90°外圆

精车车刀；T03 为切断车刀，刀宽 4mm（刀尖补偿设置在左刀尖处）。

加工前，需要将每把刀安装好对好刀并将刀偏值输入对应的刀具参数中。

4. 确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\frac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S550、F0.3；精车外圆选用 S850、F0.1；切断选用 S300、F0.1。

5. 编制数控加工程序

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.1.4　走刀路线

在数控加工中，刀具相对于工件的运动轨迹称为走刀路线，即刀具从起刀点开始运动起，直至结束加工程序所经过的路径，包括切削加工的路径及刀具引入、返回等非切削空行程。加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量，其次考虑数值计算简单，走刀路线尽量短，效率较高等。

圆柱表面的加工通常采用矩形走刀路线的加工方式，该零件外圆加工走刀路线如图 6-3 所示。

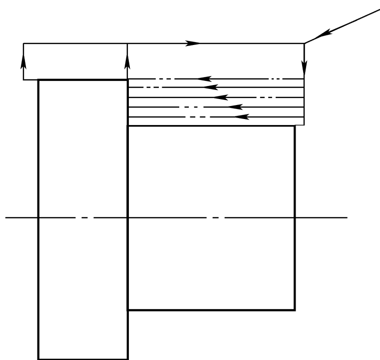


图 6-3　走刀路线

6.1.5　零件程序

程序如下：

```
O0001
T0101
M03  S550
G00  X70  Z3
G00  X61  Z3
G01  X61  Z-60  F0.3
G01  X70
```

```
G00  Z3
G00  X56
G01  Z-36
G01  X70
G00  Z3
G00  X51
G01  Z-36
G01  X70
G00  Z3
G00  X46
G01  Z-36
G01  X70
G00  Z3
G00  X41
G01  Z-36
G00  X70
G00  X200  Z50
T0100
T0202
M03  S850
G00  X40  Z3  S850
G01  Z-36  F0.1
G01  X60
G01  Z-60
G01  X70
G00  X200  Z50
T0200
M03  S300
T0303
G00  X70  Z-59  S300
G01  X5  F0.1
G00  X100
G00  Z100
T0300
M30
```



为了能检测和观察零件形状及尺寸，所以倒数第五行程序，本来应该为 X-1，再次更改为 X5。

6.1.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床…”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-4 所示。



图 6-4　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对

话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面，再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0001”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-5 所示。



图 6-5 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-6 和图 6-7 所示。



图 6-6 定义毛坯

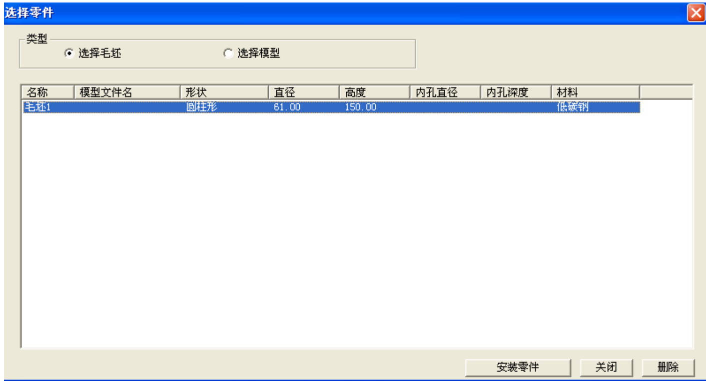


图 6-7　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 3 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2、切断刀具 T3。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片；切断刀具 T3 选择 4mm 刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-8 所示，分别设置每把刀具。

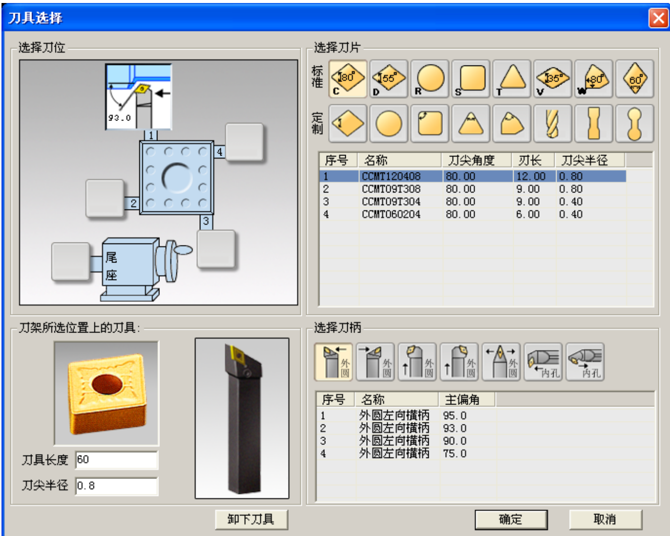


图 6-8　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-9 所示。

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

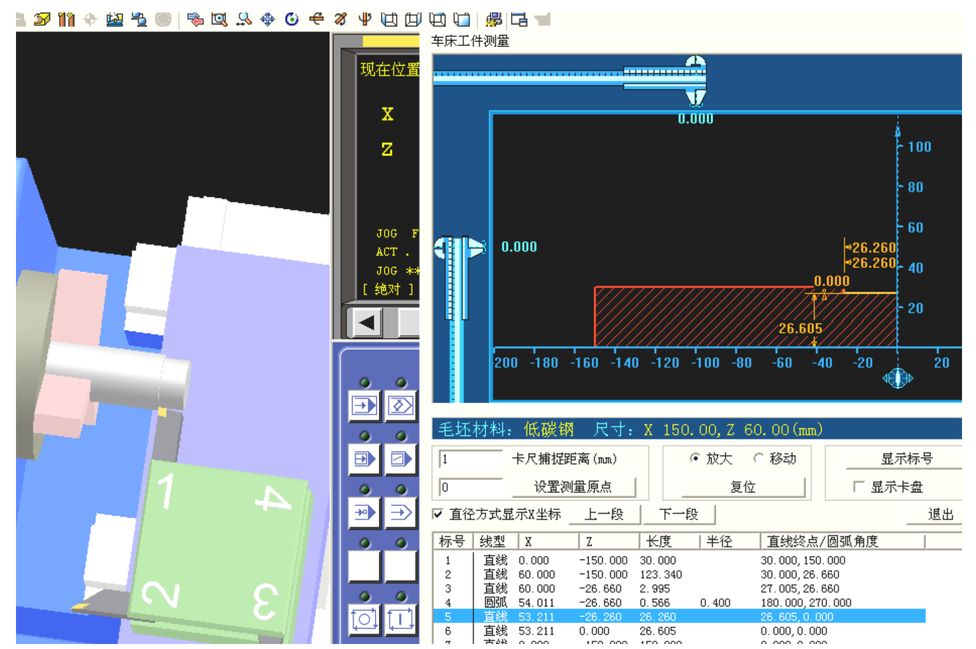


图 6-9 外圆对刀

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-10 所示。

保持 Z 轴方向不动，刀具退出，进入形状补偿参数设定对话框。将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键对应的刀具偏移量自动输入。

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，

输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

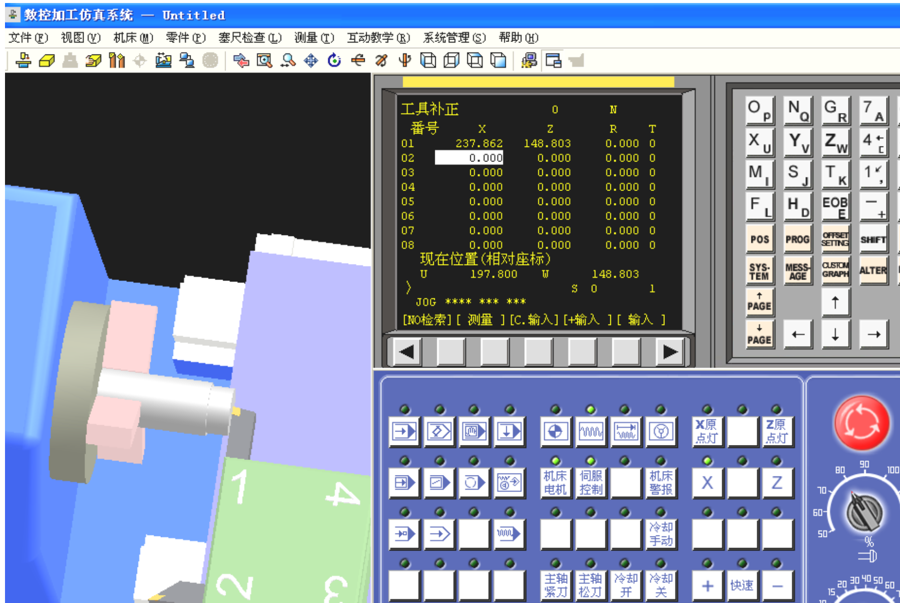


图 6-10　端面对刀

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余 2 把刀具进行对刀及设置。完成 3 把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-11 所示（因软件本身原因，有时候对刀以绝对坐标系作为计算基准，得到正值，这个思路严格来说是不正确的，但不会影响整个程序的正确执行）。



图 6-11　刀具形状补偿参数对话框

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-12 所示。

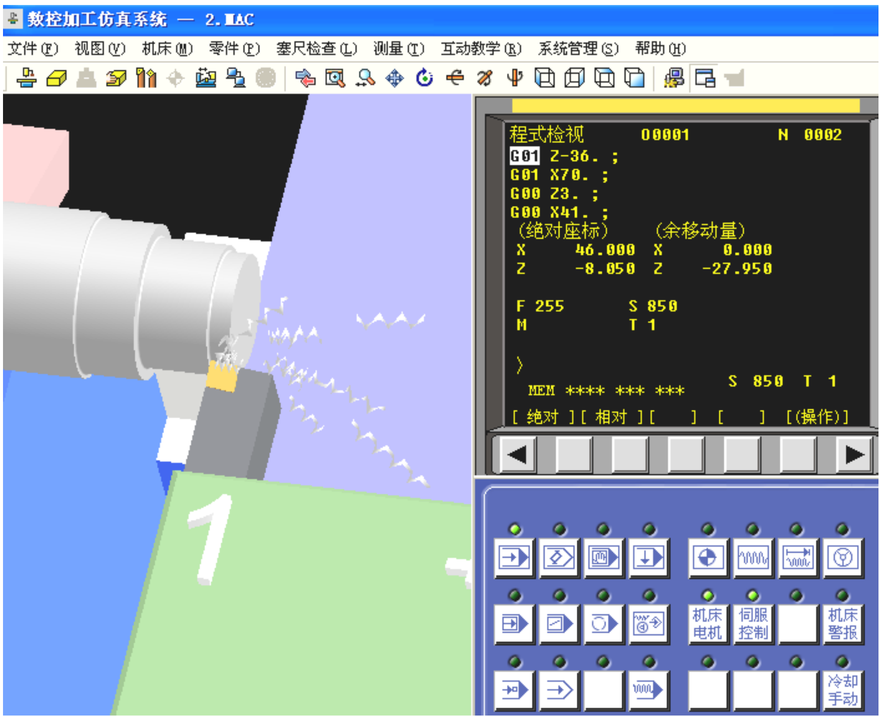


图 6-12 零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-13 所示。

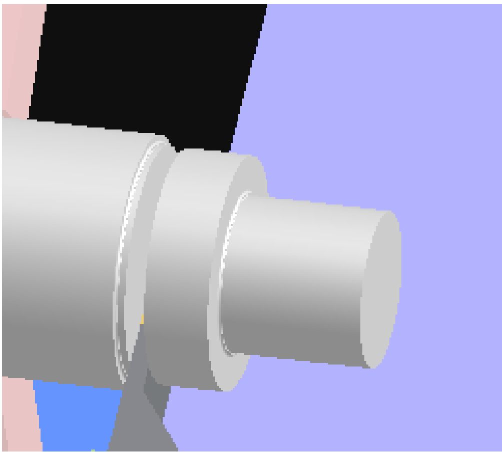


图 6-13 零件加工结果

6.1.7　检测与分析

1. 检测项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测方法

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-14 所示。

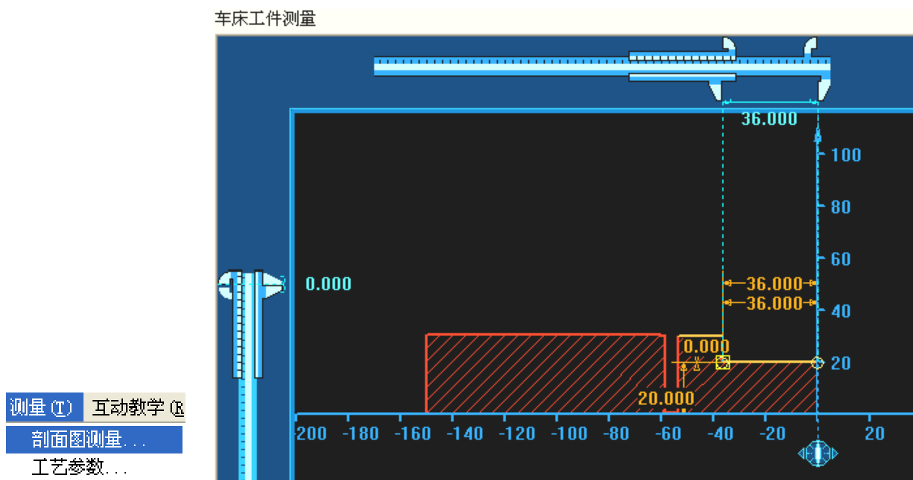


图 6-14　尺寸检查

6.2　零件圆锥表面的数控车削仿真加工

6.2.1　零件图样及信息分析

如图 6-15 所示轴类零件，毛坯是ϕ61mm×100mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面和圆锥面组成的简单回转体零件，而且零件的形状较简单，除圆锥面尺寸和精度要求较高外，需要进行粗车和精车分开加工，其余部分的尺寸和表面精度要求都不高。

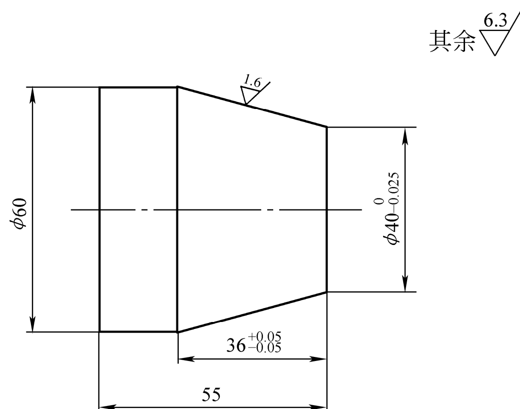


图 6-15 零件图

6.2.2 相关基础知识

1. 圆锥表面走刀路线分析

下面分析数控车床车圆锥时常用的加工路线。

1）数控车床上车外圆锥，假设圆锥大径为 D、小径为 d、锥长为 L，车圆锥的加工路线如图 6-16a 所示。

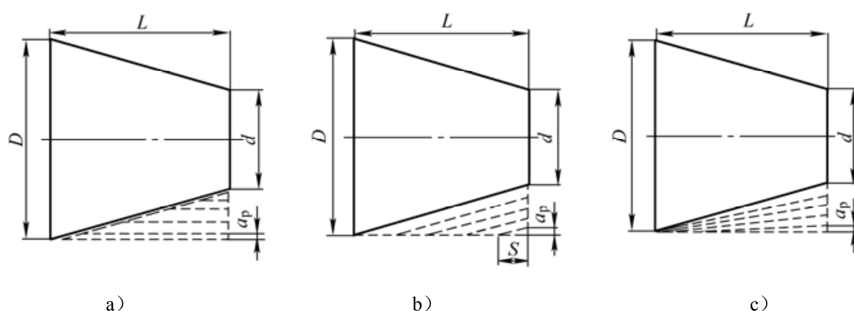


图 6-16 车外圆锥走刀路线分析

a）阶梯切削路线 b）相似斜线切削路线 c）斜线加工路线

按图 6-16a 的阶梯切削路线，二刀粗车，最后一刀精车；二刀粗车的终刀距 S 要作精确的计算，可有相似三角形得

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L}=\frac{(\frac{D-d}{2})-a_p}{S}$$

$$S=\frac{L\left[\frac{D-d}{2}-a_{\mathrm{p}}\right]}{\frac{D-d}{2}}$$

此种加工路线，粗车时，刀具背吃刀量相同，但精车时，背吃刀量不同，同时刀具切削运动的路线最短。

2）按图 6-16b 的相似斜线切削路线，也需计算粗车时终刀距 S，同样由相似三角形可计算得

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L}=\frac{a_{\mathrm{p}}}{S}$$

$$S=\frac{La_{\mathrm{p}}}{\frac{D-d}{2}}$$

按此种加工路线，刀具切削运动的距离较短。

3）按图 6-16c 的斜线加工路线，只需确定每次背吃刀量 a_{p}，而不需计算终刀距，编程方便。但在每次切削中背吃刀量是变化的，且刀具切削运动的路线较长。

2．刀尖圆弧半径补偿知识

（1）数控车床中的刀尖圆弧半径补偿原理

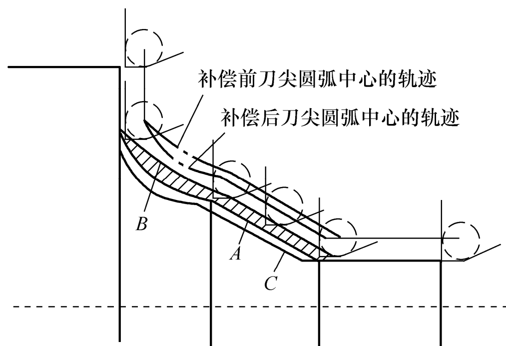


图 6-17　刀尖圆弧半径补偿

A—理论轮廓　*B*—少切轮廓　*C*—过切轮廓

编程时，通常都将车刀刀尖作为一点来考虑，虽然采用尖角车刀对加工及编程都很方便，但由于刀头越尖就越容易磨损，并且当刀具太尖而进给速度又较大时，可明显地感觉出一般的轮廓车削将产生车螺纹的效果，即使减小进给速度，也会影响

到加工表面的表面粗糙度。为此，精车时常将车刀刀尖磨成圆弧过渡刃。采用这样的车刀车内、外圆和端面时，刀尖圆弧不影响加工尺寸和形状，但转角处的尖角肯定是无法车出的，并且在切削锥面或圆弧面时，会造成过切或少切，如图6-17所示。

具有刀尖圆弧半径自动补偿功能的数控系统能根据刀尖圆弧半径计算出补偿量，避免少切或过切现象的产生。

（2）数控车床中的刀尖圆弧半径补偿指令及格式

1）刀尖圆弧半径补偿的使用格式

G41/ G42　G00/ G01　X__　Z__　　建立刀尖圆弧半径补偿

……　　刀尖圆弧半径补偿的执行

……

G40　G00/ G01　X__　Z__　　取消刀尖圆弧半径补偿

说明：

G41—— 左偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向，刀具偏在零件左侧进给；

G42——右偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向，刀具偏在零件右侧进给；

G40——取消刀具半径补偿。

图6-18所示是G41/ G42判断方法。

当系统执行到含T代码的程序指令时，仅仅是从中取得了刀具补偿的寄存器地址号（其中包括刀具几何位置补偿和刀具半径大小），此时并不会开始实施刀尖圆弧半径补偿。只有在程序中遇到G41、G42、G40指令时，才开始从刀库中提取数据并实施相应的刀尖圆弧补偿。

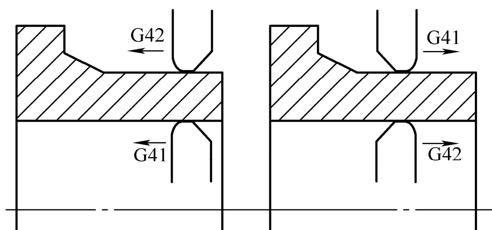


图6-18　G41/ G42判断方法

2）刀尖圆弧半径补偿的引入及取消。由没有设定刀尖圆弧半径补偿的运动轨迹到首次执行含G41、G42的程序段，即是刀尖圆弧半径补偿的引入过程，如图6-19a所示，编程时书写格式为：

G41（G42）　G01（G00）　X__　Z__　D__；在要引入的刀尖圆弧半径补偿含坐标移动的程序运行前加上G41或G42。

G40；先取消以前可能加载的刀尖圆弧半径补偿（如果以前未用过G41或G42，则可以不写这一行）。

刀尖圆弧半径补偿的取消如图 6-19b 所示。

执行过刀尖圆弧半径补偿 G41 或 G42 的指令后，刀尖圆弧半径补偿将持续对每一编程轨迹有效；若要取消刀尖圆弧半径补偿，则需要在某一编程轨迹的程序行前加上 G40 指令，或单独将 G40 作一程序行书写。



注意

1）执行刀尖圆弧半径补偿 G41 或 G42 的指令后，刀尖圆弧半径补偿将持续对每一编程轨迹有效。

2）若要取消刀尖圆弧半径补偿，则需要在某一编程轨迹的程序行前加上 G40 指令，或单独将 G40 作程序行书写。

3)刀尖圆弧半径补偿的引入和取消不应在 G02、G03 圆弧轨迹程序行上实施。

4）刀尖圆弧半径补偿引入和取消时，刀具位置的变化是一个渐变的过程。

5）当输入刀尖圆弧半径补偿数据时给的是负值，则 G41、G42 互相转化。

6）起始或终止若为直线则延长，距离必须超过圆弧半径；起始或终止若为圆弧则用相切直线延长，距离必须超过圆弧半径。

7）G41、G42 指令不要重复规定，否则会产生特殊的补偿。

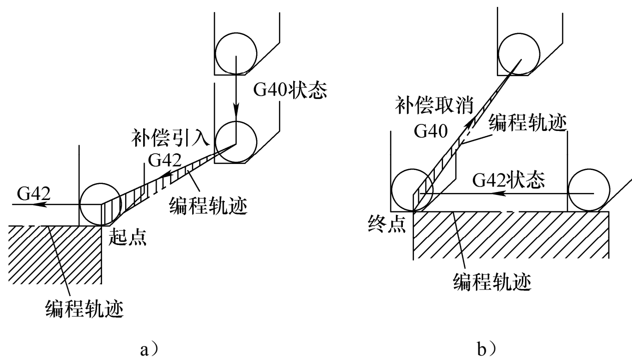


图 6-19　刀尖圆弧半径补偿的引入及取消

a）刀尖圆弧半径补偿的引入　b）刀尖圆弧半径补偿的取消

（3）刀位点与刀尖方位

刀位点即是刀具上用于作为编程相对基准的参照点。当执行没有刀补的程序时，刀位点正好走在编程轨迹上；而有刀补时，刀位点将可能行走在偏离于编程轨迹的位置上。按照试切对刀的情况看，对刀所获得的坐标数据就是刀尖的坐标，采用对刀仪也基本上是按刀尖对刀的。而事实上，对于圆弧头车刀而言，这个刀尖是不存在的，是一个假想的刀尖点，如图 6-20a 所示的 *A* 点。当然，也可通过

测出刀尖圆弧半径值来推测出刀尖圆弧中心点，如图 6-20a 所示的 *B* 点。编程时，通常就是用这样两个参照点来作为刀位点的，刀尖半径圆弧补偿也就是围绕这两种情况进行的。

虽然说只要刀尖圆弧半径补偿就可以加工出准确的轨迹尺寸形状，但若使用了不合适的刀具，如左偏刀换成右偏刀，那么采用同样的刀补算法不能保证加工准确性。为此，就引出了刀尖方位的概念。图 6-20b 所示为按假想刀尖方位以数字代码对应的各种刀具装夹放置的情况；如果以刀尖圆弧中心作为刀位点进行编程，则应选用 0 或 9 作为刀尖方位号，其他号都是以假想刀尖编程时采用的。只有在刀具数据库内按刀具实际放置情况设置相应的刀尖方位代码，才能保证对它进行正确的刀补；否则，将会出现不合要求的过切和少切现象。

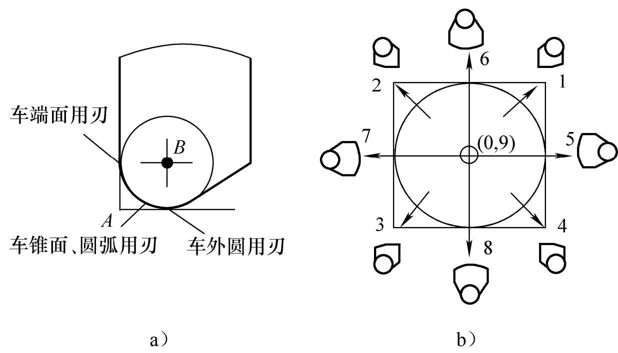


图 6-20　刀位点及刀尖方位

a）刀位点　b）刀尖方位

在数控加工中，需要在数控系统里面进行相应的参数设置，R 表示刀尖圆弧半径大小，T 表示刀尖方位号，如图 6-21 所示。



图 6-21　参数设置

3．**刀尖圆弧半径补偿举例**

图 6-22 所示为精车轮廓，考虑刀尖圆弧半径补偿，其程序编写如下：

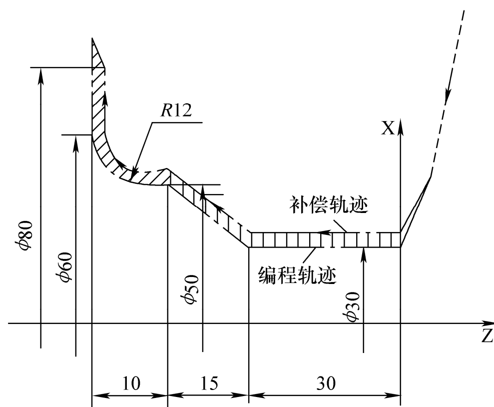


图 6-22　刀尖圆弧半径补偿编程

```
O0017
T0101                                   刀补数据库启动
G00   X100.0   Z10.0
S600   M03
G00   X50.0   Z5.0
G42   G01   X30.0   Z0.0                刀尖圆弧半径补偿引入
G01   Z-30.0   F0.2                     刀补实施中
X50.0   Z-45.0
G02   X60.0   Z-55.0   R12.0
G01   X82.0
G40   G00   X100.0                      取消刀尖圆弧半径补偿
Z10.0                                   返回
T0100                                   关闭刀具数据库
M30
```

6.2.3　加工方法

1．**确定零件装夹方式**

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端，一次装夹完成粗、精加工。

2．**确定加工顺序及进给路线**

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 1mm。

2）从右至左连续精加工各表面，达到加工要求并切断。

3．**刀具选择**

根据加工要求，选用 3 把刀具，T01 为 93° 外圆粗车车刀；T02 为 90° 外圆精车车刀；T03 为切断车刀，刀宽 4mm（刀尖补偿设置在左刀尖处）。

加工前，需要将每把刀安装好之后，对好刀并将刀偏值输入对应的刀具参数中。

4．**确定切削用量**

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\frac{1000V_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min）。粗车外圆选用 S800、F0.2；精车外圆选用 S1200、F0.06；切断选用 S400、F0.1。

5．**编制数控加工程序**

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.2.4 走刀路线

编写零件加工程序必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。根据前面介绍的车外圆锥走刀路线，选择第二种，即采用相似斜线切削路线。该零件的走刀路线如图 6-23 所示，$A\rightarrow B$、$C\rightarrow D$、$E\rightarrow F$ 为粗车圆锥轨迹，背吃刀量 a_p 为 3mm，精车余量为 1mm。端面加工及切断加工轨迹不再重复介绍。

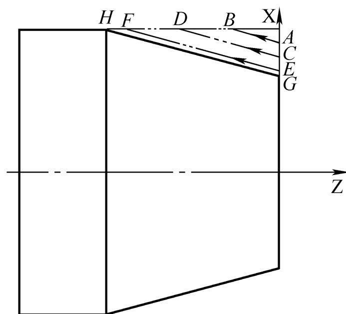


图 6-23 走刀路线

根据走刀路线，确定出粗车圆锥各点坐标：*A*（54，0），*B*（60，−10.8），*C*（48，0），*D*（60，−21.6），*E*（42，0），*F*（60，−32.4）。

6.2.5　零件程序

程序如下：

```
O0002
T0101                                粗车外圆
S800  M03
G00  X65.0  Z0
G00  X54
G01  X60  Z−10.8  F0.2
G00  Z0
G00  X48
G01  X60  Z−21.6
G00  Z0
G00  X42
G01  X60  Z−32.4
G00  X150  Z100
T0100
T0202                                精车外圆
S1200  M03
G00  X45.0  Z5
G42  G01  X40.0  Z0.0  F0.06
G01  X60  Z−36
Z−65
G40  G00  X150  Z100
T0200
T0303                                切断
S400  M03
G00  X65.0  Z−59                     切断刀宽 4mm
G01  X5  F0.1
G00  X150
G00  Z100
T0300
M30
```



注意

为了能检测和观察零件形状及尺寸，在倒数第五行程序本来应该为 X–1，再次更改为 X5。这里精加工刀具 T02 刀尖圆弧半径设为 0，因为带有刀尖圆弧半径，即使调整控制到刀尖圆弧中心，但该仿真软件计算问题形成的误差比较大。

6.2.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床…”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-24 所示。



图 6-24　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的PROG键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序。

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键 [操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0002”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-25 所示。

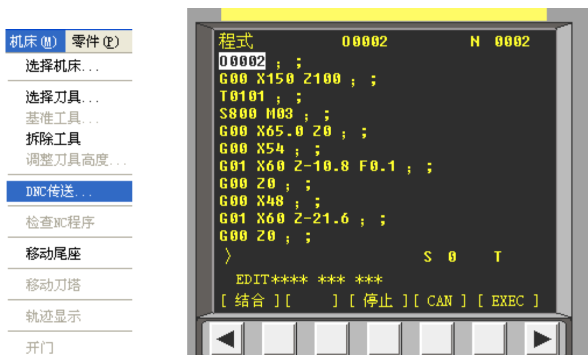


图 6-25　程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法，如图 6-26 和图 6-27 所示。

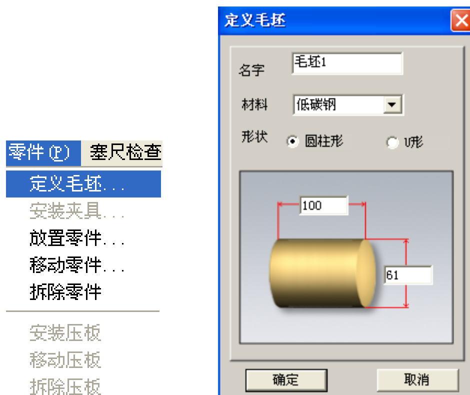


图 6-26　定义毛坯

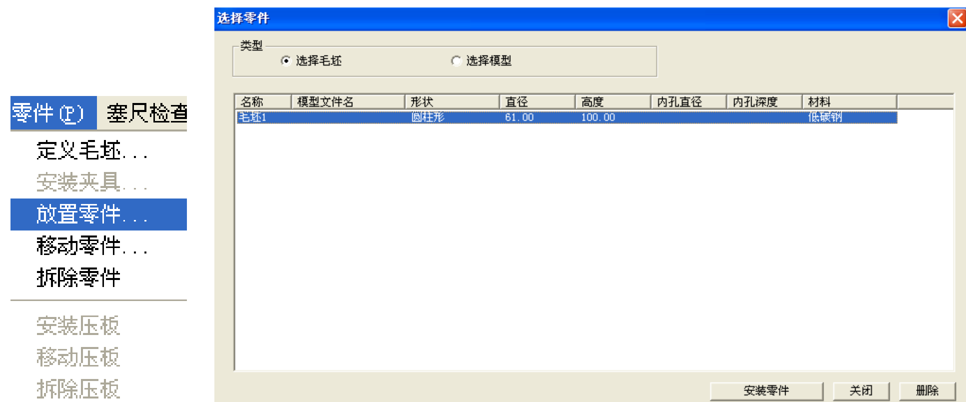


图 6-27　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 3 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2、切断刀具 T3。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片；切断刀具 T3 选择 4mm 刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-28 所示，分别设置每把刀具。

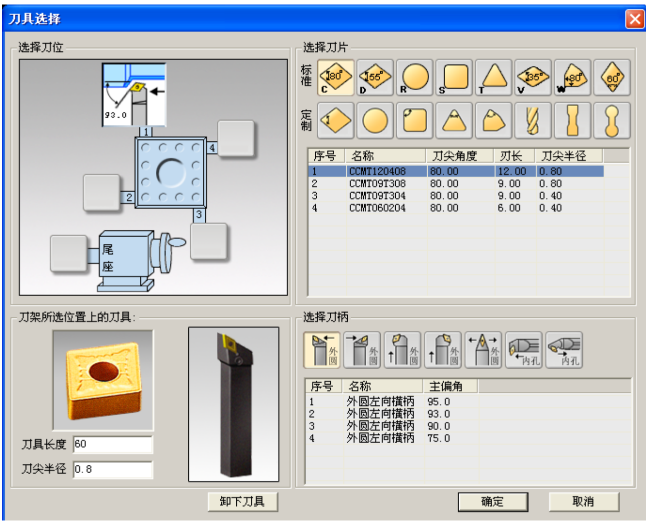


图 6-28　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量...”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-29 所示。

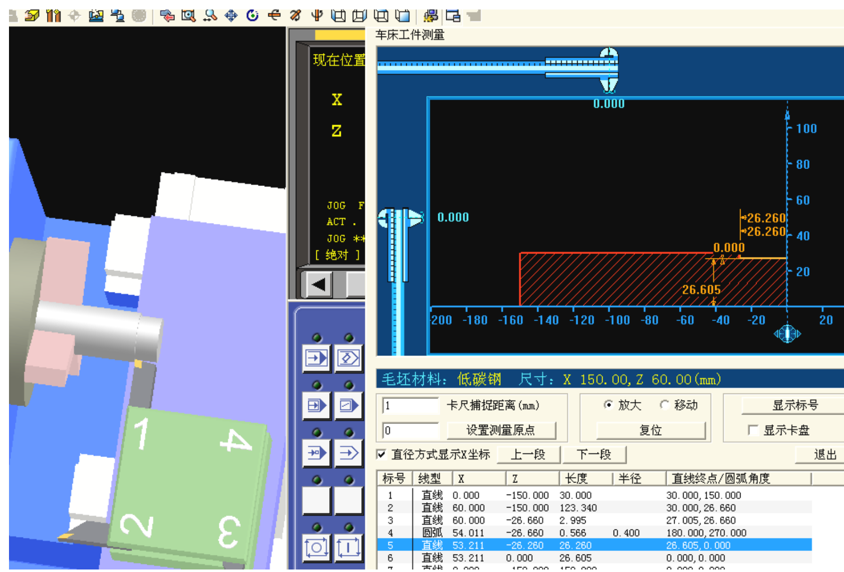


图 6-29　外圆对刀

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-30 所示。

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

以上两步也可以用 1 号刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

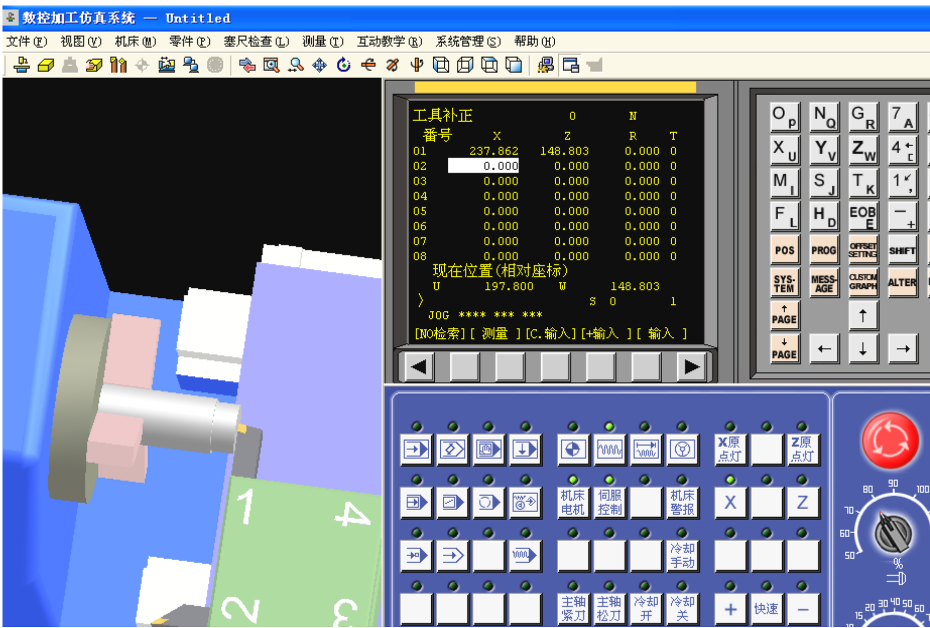


图 6-30 端面对刀

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余 2 把刀具进行对刀及设置。完成 3 把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-31 所示。



图 6-31 刀具形状补偿参数对话框

8. **自动加工**

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-32 所示。

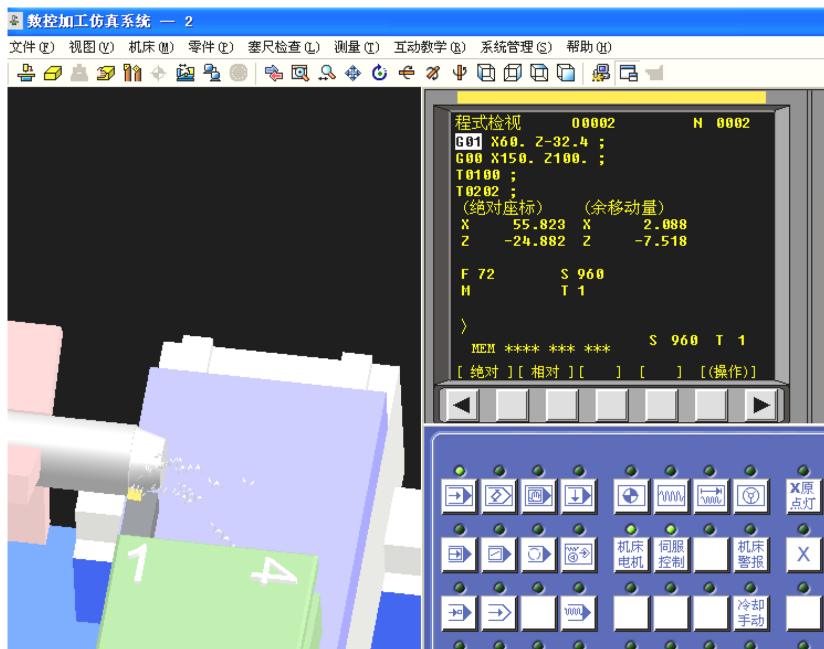


图 6-32　零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-33 所示。

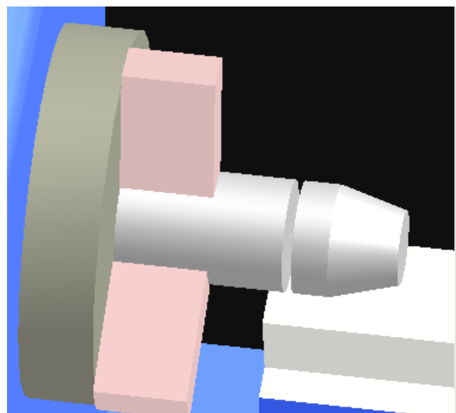


图 6-33　零件加工结果

6.2.7　检测与分析

1. 检测项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测方法**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-34 所示。

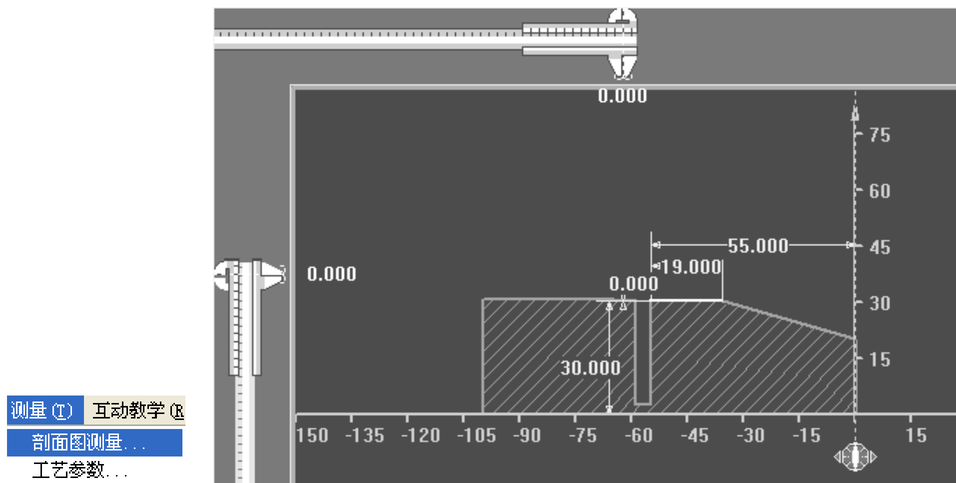


图 6-34 尺寸检查

6.3 零件圆弧表面的数控车削仿真加工

6.3.1 零件图样及信息分析

如图 6-35 所示轴类零件，毛坯是 ϕ61mm×100mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面和圆弧面组成的简单回转体零件，零件的形状较简单，除右端圆弧和圆柱面尺寸和精度要求较高，需要进行粗车和精车分开加工外，其余部分的尺寸和表面精度要求都不高。

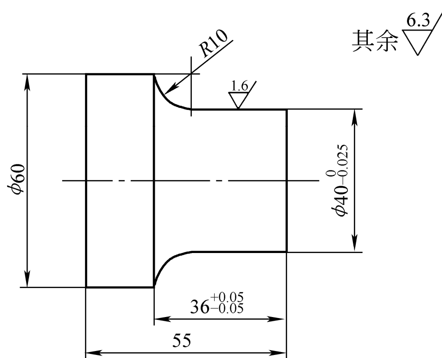


图 6-35 零件图

6.3.2　相关基础知识

1．**圆弧插补指令**

（1）圆弧插补指令 G02/G03 含义及判断方法

G02 为按指定进给速度的顺时针圆弧插补。G03 为按指定进给速度的逆时针圆弧插补。

圆弧顺逆方向的判别：沿着不在圆弧平面内的坐标轴，由正方向往负方向看，顺时针方向为 G02，逆时针方向为 G03，如图 6-36 所示。

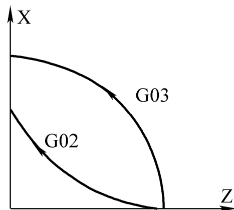


图 6-36　G02/G03 判断方法

（2）圆弧插补指令 G02/G03 格式

格式：G02　X（U）_　Z（W）_　R _　（I_　K_）　F_

　　　G03　X（U）_　Z（W）_　R _　（I_　K_）　F_

其中：

X，Z（U，W）——圆弧终点坐标；

R——圆弧半径；

I——圆心相对于圆弧起点的径向增量坐标值；

K——圆心相对于圆弧起点的轴向增量坐标值。

说明：

1）圆弧半径编程时，当加工圆弧段所对的圆心角为 0～180°时，R 取正值；当圆心角为 180°～360°时，R 取负值；用半径 R 指定圆心坐标时，不能描述整圆；同一程序段中 I、K、R 同时指令时，R 优先，I、K 无效。

2）X、Z 同时省略时，表示起终点重合；若用 I、K 指令圆心，相当于指令了 360°的弧；若用 R 编程时，则表示指令为 0°的弧。

G02 (G03)　I_ ；整圆

G02 (G03)　R_；不动

3）当采用绝对坐标编程时，圆弧终点坐标为坐标系中的绝对坐标值，用 X、Z 表示；当采用增量坐标编程时，圆弧终点坐标为圆弧终点相对于圆弧起点的增量坐标值，可以用 X、Z 或者 U、W 表示。

4）无论是用绝对编程方式还是用相对编程方式，I、K 都为圆心相对于圆弧起点的坐标增量，为零时可省略。

5）数控车床的刀架位置有两种形式，即刀架在操作者的同侧或者在操作者的外侧，因此，应根据刀架的位置判断圆弧插补的顺逆方向。

2．圆弧表面走刀路线分析

应用 G02（或 G03）指令车圆弧，若用一刀就把圆弧加工出来，这样背吃刀量太大，容易打刀。所以，实际车圆弧时，需要多刀加工，先将大部分余量切除，最后才车得所需圆弧。

图 6-37 为车圆弧的阶梯切削路线。即先粗车成阶梯，最后一刀精车出圆弧。此方法在确定了每次背吃刀量 a_p 后，需精确计算出粗车的终点刀距 S，即求圆弧与直线的交点。此方法刀具切削运动距离较短，但数值计算较繁。

图 6-38 左为车圆弧的同心圆弧切削路线。即用不同的半径圆来车削，最后将所需圆弧加工出来。此方法在确定了每次背吃刀量 a_p 后，对 90° 圆弧的起点、终点坐标较易确定，数值计算简单，编程方便，常采用。但按图 6-38 右加工时，空行程时间较长。

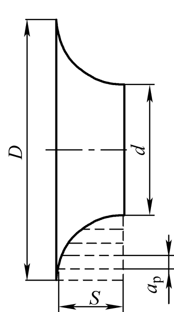


图 6-37　阶梯切削路线车圆弧

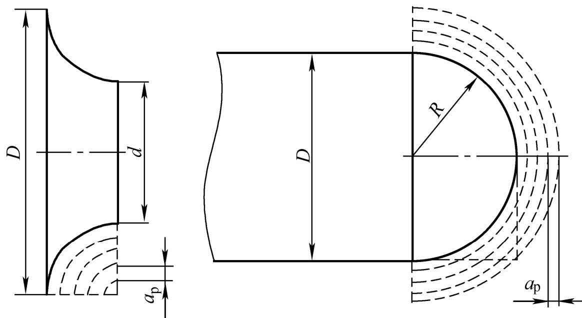


图 6-38　同心圆弧切削路线车圆弧

图 6-39 为车圆弧的车锥法切削路线。即先车一个圆锥，再车圆弧。但要注意，若车锥时的起点和终点确定不好，则可能损坏圆锥表面，也可能将余量留得过大。连接 OC 交圆弧于 D，过 D 点作圆弧的切线 AB。

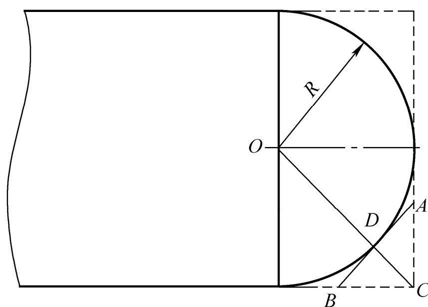


图 6-39　车圆弧的车锥法切削路线

由几何关系 $CD=OC-OD=\sqrt{2}R-R=0.414R$，此为车锥时的最大切削余量，即车锥时，加工路线不能超过 *AB* 线。由图示关系可得 $AC=BC=0.586R$，这样可以确定出车锥时的起点和终点。当 *R* 不太大时，可取 $AC=BC=0.5R$。此方法数值计算较繁，刀具切削路线短。

6.3.3　加工方法

1. 确定零件装夹方式

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端，一次装夹完成粗、精加工。

2. 确定加工顺序及进给路线

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 1mm。

2）从右至左连续精加工各表面，达到加工要求并切断。

3. 刀具选择

根据加工要求，选用 3 把刀具，T01 为外圆粗车车刀；T02 为外圆精车车刀；T03 为切断车刀，刀宽 4mm（刀尖补偿设置在左刀尖处）。

4. 确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\dfrac{1000V_c}{\pi D}$ 计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用S800、F0.15；精车外圆选用S1200、F0.04；切断槽选用S400、F0.1。

5. 编制数控加工程序

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.3.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的走刀路线如图 6-40 所示，*A*1→*A*2→*A*3、*B*1→*B*2→*B*3、*C*1→*C*2→*C*3 为粗车轨迹，*D*1→*D*2→*D*3 为精加工轮廓，每次背吃刀量 a_p 为 3mm，精车余量 a_p 为 1mm。端面加工及切断加工轨迹不再重复介绍。

根据走刀路线，确定出粗车圆锥各点坐标：

*A*1（54，2），*A*2（54，−26），*A*3（60，−29）；

*B*1（48，2），*A*2（48，−26），*A*3（60，−32）；

*C*1（42，2），*A*2（42，−26），*A*3（60，−35）。

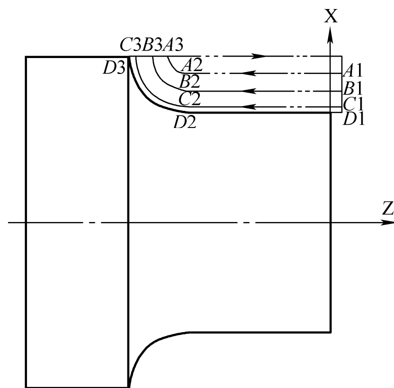


图 6-40　零件走刀路线

6.3.5　零件程序

程序如下：

```
O0003
T0101                                  粗车外圆
S800   M03
G00   X54.0   Z2
G01   Z-26   F0.15
G02   X60   Z-29   R3
G00   Z2
G00   X48
G01   Z-26
G02   X60   Z-32   R6
G00   Z2
G00   X42
G01   Z-26
G02   X60   Z-35   R9
G00   X150   Z100
T0100
T0202                                  精车外圆
S1200   M03
G00   X40   Z2
```

```
G42   G01   X40.0   Z0.0   F0.04
G01   Z-26
G02   X60   Z-36   R10
G01   Z-65
G40   G00   X150   Z100
T0200
T0303                              切断
S400   M03
G00   X65.0   Z-59                 切断刀宽 4mm
G01   X5   F0.1
G00   X150
G00   Z100
T0300
M30
```

6.3.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-41 所示。



图 6-41　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0003”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-42 所示。

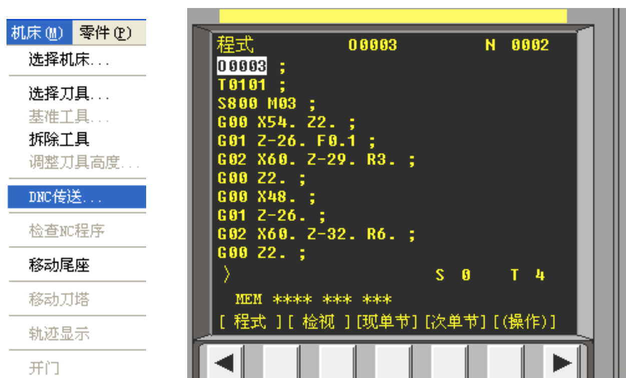


图 6-42 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-43 和图 6-44 所示。



图 6-43　定义毛坯

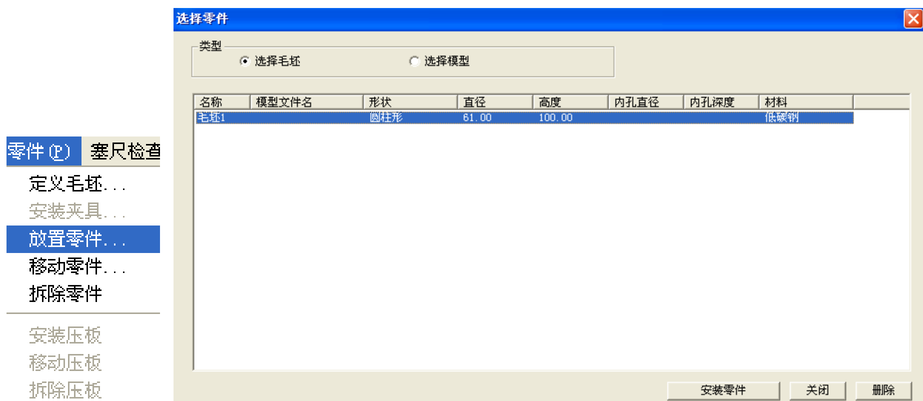


图 6-44　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 3 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2、切断刀具 T3。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片；切断刀具 T3 选择 4mm 刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-45 所示，分别设置每把刀具。

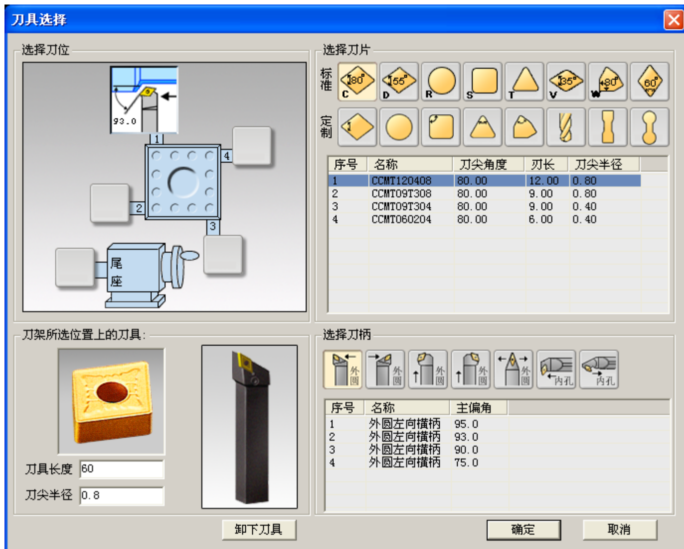


图 6-45　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-46 所示。

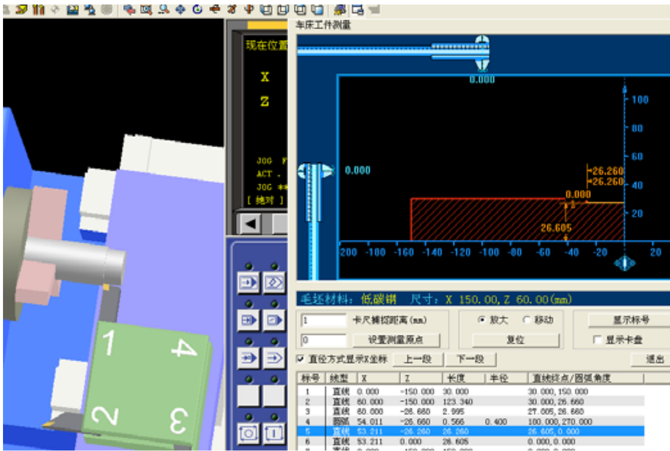


图 6-46　外圆对刀

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测

量]，对应的刀具偏移量自动输入。

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-47 所示。

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

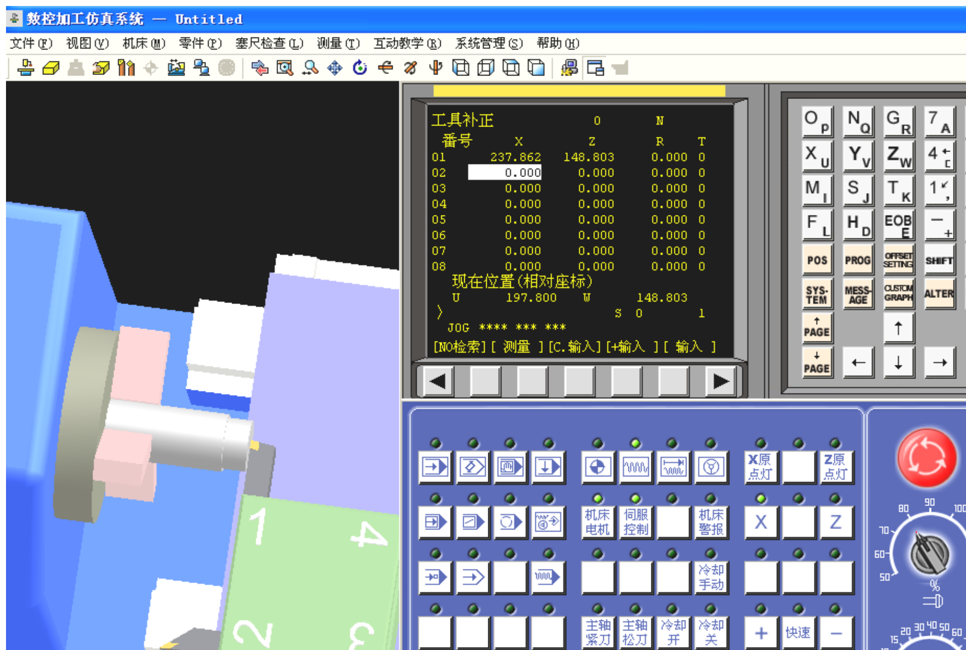


图 6-47　端面对刀

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径，记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余 2 把刀具进行对刀及设置。完成 3 把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框，如图 6-48 所示。



图 6-48　刀具形状补偿参数对话框

8. **自动加工**

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-49 所示。

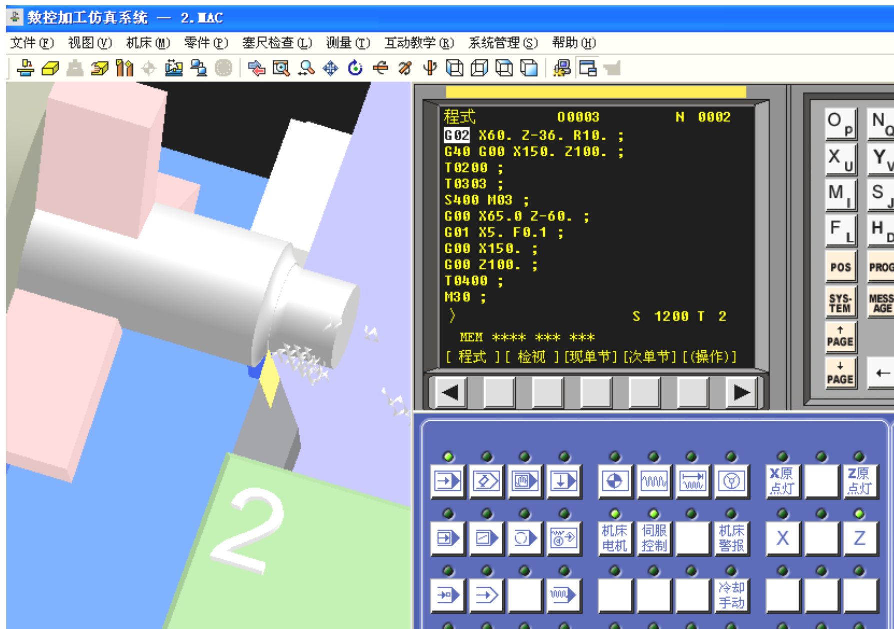


图 6-49　零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-50 所示。

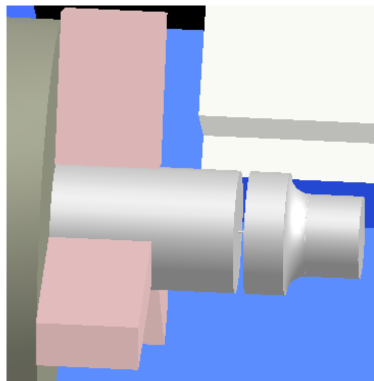


图 6-50　零件加工结果

6.3.7　检测与分析

1. **检测与分析项目**

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测与分析零件尺寸**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量…”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-51 所示。

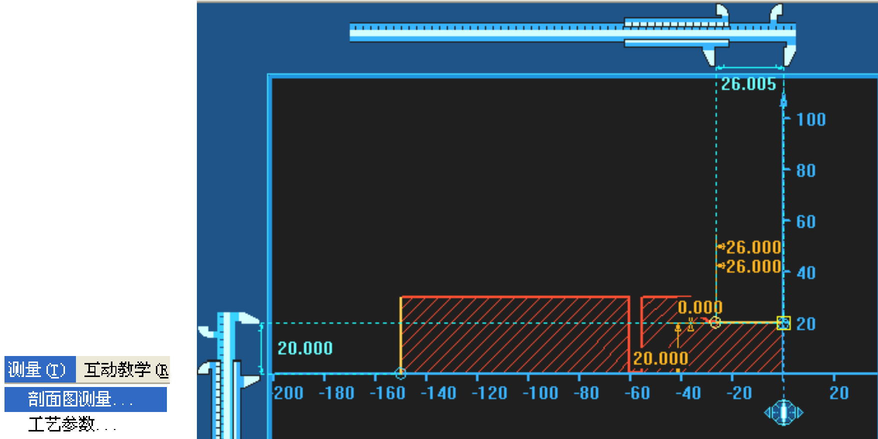


图 6-51　尺寸检查

6.4　应用单一循环功能及螺纹指令的零件数控车削仿真加工

6.4.1　零件图样及信息分析

如图 6-52 所示轴类零件，毛坯是ϕ40mm×100mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面和圆锥面组成的简单回转体零件，同时包含螺纹及退刀槽。从零件表面粗糙度分析可知，需要进行粗车和精车分开加工，然后切退刀槽和螺纹。

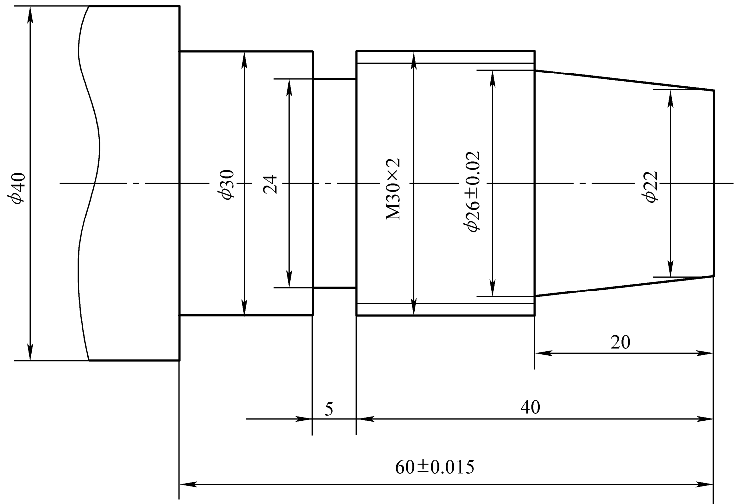


图 6-52　零件图形

6.4.2　相关基础知识

1．**单一固定循环功能** G90、G94

单一固定循环功能可以将一系列连续加工动作，如“切入-切削-退刀-返回”，用一个循环指令完成，从而简化程序。

（1）圆柱面或圆锥面切削循环

圆柱面或圆锥面切削循环是一种单一固定循环。圆柱面单一固定循环如图 6-53 所示，圆锥面单一固定循环如图 6-54 所示。

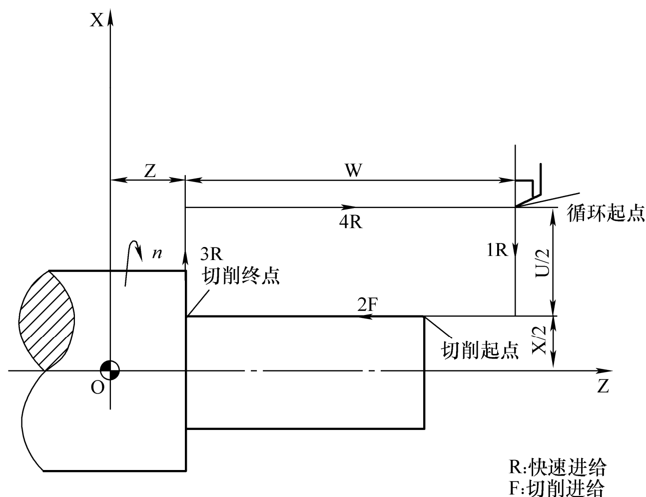


图 6-53　圆柱面单一固定循环

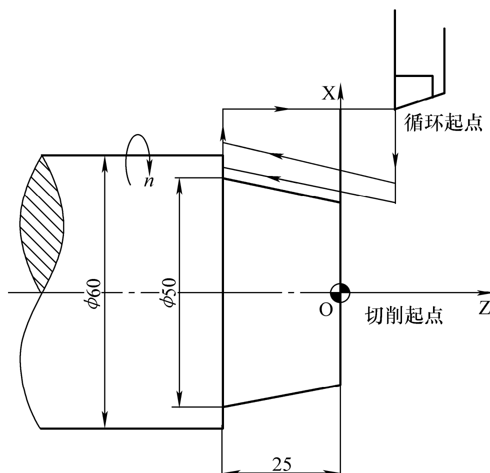


图 6-54　圆锥面单一固定循环

1）圆柱面切削循环格式

格式：G90　X（U）__　Z（W）__　F__

其中：

X、Z—— 圆柱面切削的终点坐标值；

U、W——圆柱面切削的终点相对于循环起点坐标增量。

例：应用圆柱面切削循环功能加工图 6-55 所示零件。

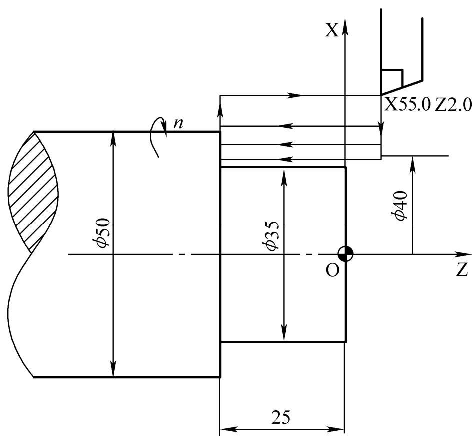


图 6-55　G90 的用法（圆柱面）

程序如下：

N10　G50　X200　Z200　T0101

N20　M03　S1000

N30　G00　X55　Z2　M08

N40　G90　X45　Z-25　F0.2

N50　X40

N60　X35

N70　G00　X200　Z200

N80　T0100

N90　M30

2）圆锥面切削循环格式

格式：G90　X（U）__　Z（W）__　R__　F__

其中：

X、Z—— 圆锥面切削的终点坐标值；

U、W——圆柱面切削的终点相对于循环起点的坐标；

R——圆锥面切削的起点相对于终点的半径差。如果切削起点的 X 向坐标小

于终点的 X 向坐标，R 值为负；反之为正，如图 6-54 所示。

例：应用圆锥面切削循环功能加工图 6-54 所示零件。

程序如下

……

G01　X65　Z2

G90　X60　Z-35　R-5　F0.2

X50

G00　X100　Z200

……

（2）端面切削循环

端面切削循环是一种单一固定循环，适用于端面切削加工，如图 6-56 所示。

1）平面端面切削循环格式。

格式：G94　X（U）__　Z（W）__　F__

式中：

X、Z——端面切削的终点坐标值；

U、W——端面切削的终点相对于循环起点的坐标。

例：应用端面切削循环功能加工图 6-57 所示零件。

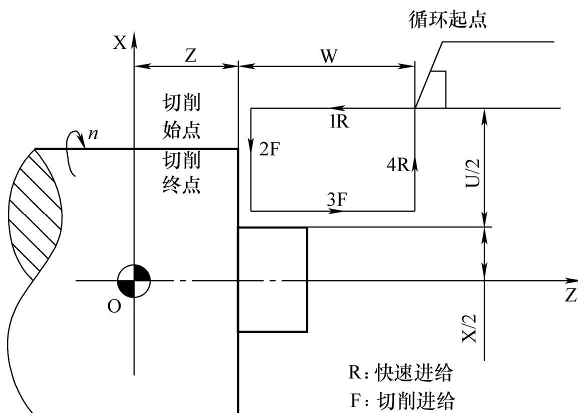


图 6-56　端面切削循环

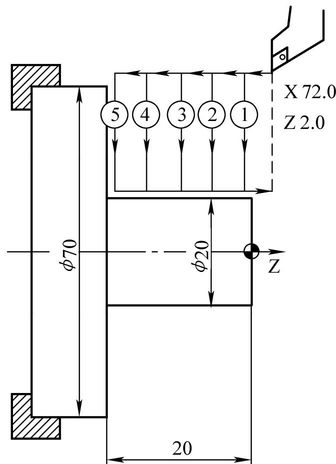


图 6-57　G94 的用法（圆柱面）

程序如下：

……

G00　X72　Z2

G94　X20　Z-4　F0.2

Z-8

Z-12

Z-16

Z-20

G00　X150.0　Z200.0
……

2）锥面端面切削循环格式

格式：G94　X（U）__　Z（W）__　R__　F__

其中：

X、Z—— 端面切削的终点坐标值；

U、W——端面切削的终点相对于循环起点的坐标；

R——端面切削的起点相对于终点在 Z 轴方向的坐标增量。当起点 Z 向坐标小于终点 Z 向坐标时，R 为负；反之为正，如图 6-58 所示。

例：应用端面切削循环功能加工图 6-59 所示零件。

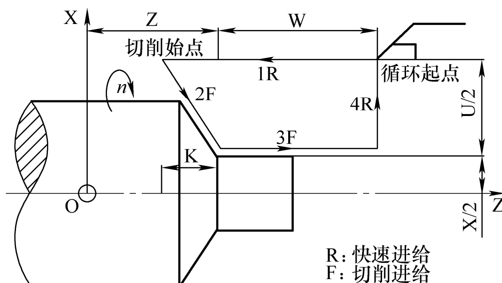


图 6-58　锥面端面切削循环

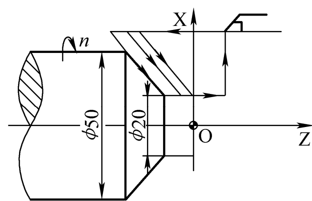


图 6-59　G94 的用法（锥面）

程序如下：

……
G94　X20　Z0　R-5　F0.2
Z-5
Z-10
……

2. 螺纹切削指令

（1）基本螺纹切削指令 G32

格式：G32 X（U）__　Z（W）__　F__

其中：

X（U）、Z（W）—— 螺纹切削的终点坐标值；X 省略时为圆柱螺纹切削，Z 省略时为端面螺纹切削；X、Z 均不省略时为锥螺纹切削；X 坐标值依据《机械设计手册》查表确定。

F—— 螺纹导程。



注意

1）切削螺纹时，主轴转速要保持不变，所以控制功能一定要用恒转速指

令，而不能用恒线速指令。

2）在加工螺纹时，面板上的进给速度倍率、主轴速度倍率开关无效。

3）由于伺服系统本身具有滞后特性，故在螺纹切削时要考虑足够的切入距离 δ_1 和切出距离 δ_2，如图 6-60 所示。

4）螺纹加工中的背吃刀量大小和进刀次数会直接影响螺纹的加工质量和效率，一般按经验或参照表 6-1 选择。

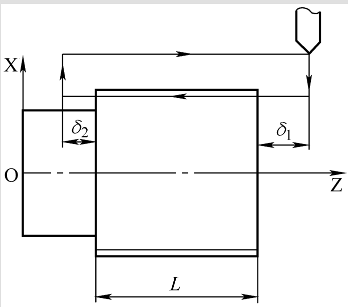


图 6-60 圆柱螺纹切削

表 6-1 普通螺纹进给次数和背吃刀量大小参考表

（单位：mm）

普通螺纹牙型高度：0.6495*P* （*P* 为螺纹螺距）							
螺距	1	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5
牙型高度	0.649	0.974	1.137	1.299	1.624	1.949	2.273
进给次数和背吃刀量	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.5
	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7
	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6
		0.16	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6
			0.08	0.1	0.4	0.4	0.4
					0.15	0.3	0.4
						0.2	0.2
						0.1	0.15

注：表中的背吃刀量为直径值。

例：加工图 6-61 所示的螺纹零件，已知螺纹外径已加工到 ϕ29.8mm（由于螺纹的挤压变形，所以在加工外径时一定要比公称直径要小一些），设切入距离 δ_1=5 mm，切出距离 δ_2=2 mm，根据图形编制螺纹加工程序。

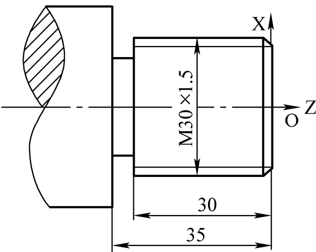


图 6-61 圆柱螺纹切削实例

在加工螺纹之前，应先计算出牙型高度，再根据其高度分配进刀次数及背吃刀量。此题经查表 6-1，确定分四刀完成螺纹加工，程序如下：

```
O1006
N010  G50  X160.0  Z50.0
N020  T0303
N030  M03  S680
N040  G00  X35.0  Z5.0
```

```
N050  G01  X29.2  F2.0          进给到第一刀的径向尺寸
N060  G32  W-37.0  F1.5         切削螺纹
N070  G00  X32.0                退到大于公称直径位置
N080  W37.0                     回程至进刀位置
N090  G01  X28.6  F2.0          进给到第二刀的径向尺寸
N100  G32  W-37.0  F1.5
N110  G00  X32.0
N120  W37.0
N130  G01  X28.2  F2.0          进给到第三刀的径向尺寸
N140  G32  W-37.0  F1.5
N150  G00  X32.0
N160  W37.0
N170  G01  X28.04  F2.0         进给到第四刀的径向尺寸
N180  G32  W-37.0  F1.5
N190  G00  X32.0
N200  X160.0  Z50.0  T0300
N210  M30
```

（2）螺纹切削循环指令 G92

螺纹切削循环指令把“切入-螺纹切削-退刀-返回”四个动作作为一个循环（图 6-62），用一个程序段来指令。

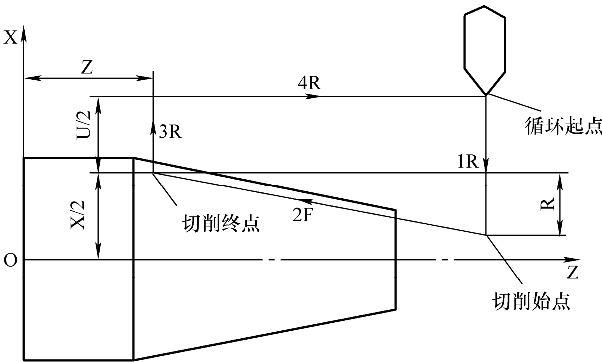


图 6-62　螺纹切削循环

格式：G92　X（U）__　Z（W）__　R__　F__

其中：

X、Z—— 螺纹切削的终点绝对坐标值；

U、W——螺纹切削的终点相对于循环起点的增量坐标值；

R——螺纹切削起点与终点的半径差，加工圆柱螺纹时，R=0；加工圆锥螺纹

时，如果 X 向切削起点绝对坐标小于终点绝对坐标，R 为负，反之为正；

F——螺纹导程。

说明：

1）采用螺纹切削循环指令，需要在 G92 的前一段设置一个循环起点，每加工完一刀，刀具都会返回到循环起点。

2）加工圆锥螺纹时，应根据螺纹起点坐标与终点坐标计算出 R 值。要特别注意的是：R 值是起点与终点的半径差，而不是圆锥大小端的半径差。

例：加工一圆锥螺纹，图形如图 6-63 所示。设圆锥表面已加工完成，切入距离 δ_1=5mm，切出距离 δ_2=1mm，螺纹螺距 P=2 mm，采用螺纹切削循环指令编制程序。

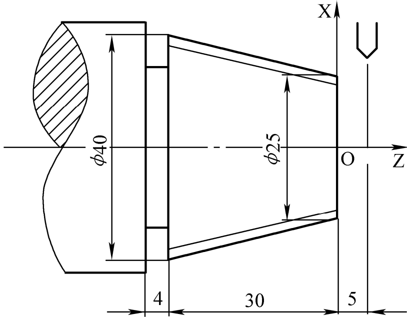


图 6-63　圆锥螺纹循环切削实例

1）先计算螺纹参数。牙型高度=1.299mm，计划分五刀完成，参照表 6-1，进给量分别为 0.9mm、0.7mm、0.5mm、0.4mm、0.1mm。

2）再计算圆锥切削始点与终点直径值及 R 值。

由上述公式计算可得：d_1=22.5 mm，D_1=41 mm，R=−9.25 mm。

程序如下：

```
O2000
N010   G54   G00   X80.0   Z50.0
N020   T0303
N030   M03   S620    M08
N040   G00   X45.0   Z5.0     该点为循环起点，此处 Z=5 mm，与切入点对应
N050   G92   X40.1   Z－32   R－9.25   F2.0          循环开始的第一刀
N060   X39.4                                          第二刀
N070   X38.9                                          第三刀
N080   X38.5                                          第四刀
N090   X38.4                                          第五刀
N100   G00   X200.0   Z100.0   T0300   M09
N110   M30
```

经过上面两例比较，采用螺纹切削循环指令编程，程序要简洁得多。圆柱螺纹也同样可采用此方式编制，只是不必计算 R 值，即 R=0。

（3）螺纹切削复合循环 G76

该指令适合于车削导程较大、进刀次数较多的螺纹。加工任何螺纹不管进刀次数是多少，该指令始终只需指定一次（两行参数），数控系统就会按照给定的参

数自动计算并完成螺纹的全部内容，程序比前面讲过的 G92 指令还要短。另外，该种循环采用的是斜进法进刀，所以在加工牙型较深的螺纹时有利于改善刀具的切削条件，加工大导程螺纹时可优先考虑使用该指令，如图 6-64 所示。

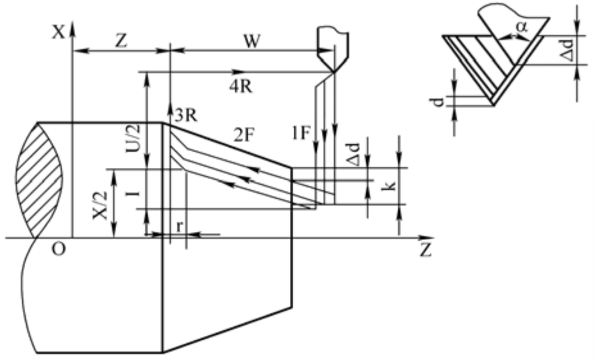


图 6-64　螺纹切削复合循环与进刀方法

格式：

G76　P（m）__　（r）__　（α）__　Q（Δd_{min}）__　R（d）__

G76　X（U）__　Z（W）__　R（i）__　P（k）__　Q（Δd）__　F（l）__

其中：

m——精加工车削次数，必须用两位数字表示；

r——螺纹末端倒角量，必须用两位数字表示；

α——螺纹刀尖角；

Δd_{min}——最小背吃刀量，该数值不可用小数点方式表示；

d——精加工余量；

X、Z——最后一刀螺纹终点的绝对坐标值；

U、W——最后一刀螺纹终点相对于循环起点的增量坐标值；

i——螺纹切削起点与切削终点的半径差，加工圆锥螺纹时，当 X 向切削起点绝对坐标小于终点绝对坐标时，i 为负，反之为正；加工圆柱螺纹时，i=0；

k——螺纹的牙型高度；

Δd——第一刀背吃刀量，该数值不可用小数点方式表示；

l——螺纹的导程。

例：零件如图 6-65 所示，已知外圆已加工完成，根据螺纹尺寸采用复合切削循环功能编写零件的螺纹加工程序。假设 3 号刀为螺纹刀。

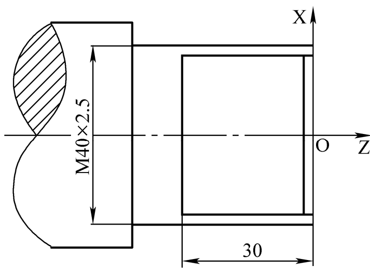


图 6-65　螺纹切削复合循环

在编制螺纹程序之前，先要计算出相关参数，具体如下：

牙型高度：0.6495×2.5=1.624 mm，螺纹小径：40−2×1.624=36.753 mm。

取 r=8 mm、d=0.04 mm、Δd=1.0 mm、Δd_{min}=0.02。

程序如下：

```
O1001
N10  G50  X150.0   Z20.0
N20  T0303  M08
N30  M03  S650
N40  G00  X45.0  Z10.0
N50  G76  P020860  Q20  R0.04
N60  G76  X36.753  Z-30.0  R0  P1.624  Q1000  F2.5
N70  G00  X150.0  Z20.0  T0300  M09
N80  M30
```

6.4.3 加工方法

1. 确定零件装夹方式

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端。

2. 确定加工顺序及进给路线

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 1mm。

2）从右至左连续精加工各表面。

3）切退刀槽。

4）加工螺纹。

3. 刀具选择

根据加工要求，选用 4 把刀具，T01 为外圆粗车车刀；T02 为外圆精车车刀；T03 为切断车刀，刀宽 5mm（刀尖补偿设置在左刀尖处）；T04 为螺纹车刀具。

4. 确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\dfrac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S800、F0.15；精车外圆选用 S1200、F0.04；切槽选用 S400、F0.1；切螺纹选用 S600、F2。

5. 编制数控加工程序

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心

线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.4.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的走刀路线如图 6-66 所示，图中展示了外圆粗加工走刀路线，从 *S* 点出发，到达循环起点 *A*（42，2），加工中共用了 4 次循环，切削路线由箭头标出。

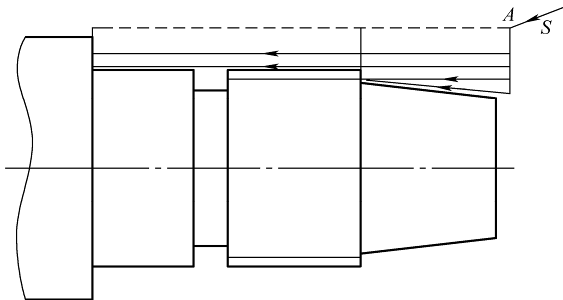


图 6-66　零件走刀路线

外圆精加工路线、切槽路线及螺纹加工路线简单，就不再介绍。

6.4.5　零件程序

程序如下：

```
O0004
T0101                                    粗车外圆
S800   M03
G00   X42   Z2
G90   X35   Z-60   F0.15
X31
X27   Z-20
X27   Z-20   R-2.2
G00   X150   Z100
T0100
T0202                                    精车外圆
S1200   M03
G00   X21.6   Z2
G01   X26   Z-20   F0.04
X30
Z-60
X41
G00   X150   Z100
T0200
T0303                                    切槽
S400   M03
```

```
G00   X32   Z-45
G01   X24   F0.1
G00   X150
Z100
T0300
T0404                              切螺纹
S600   M03
G00   X32   Z-15
G92   X29.1   Z-42   F2
X28.4
X27.9
X27.5
X27.5
G00   X150   Z100
T0400
M30
```

6.4.6 仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床…”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-67 所示。



图 6-67 选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键 [操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0004”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-68 所示。



图 6-68　程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-69 和图 6-70 所示。



图 6-69　定义毛坯

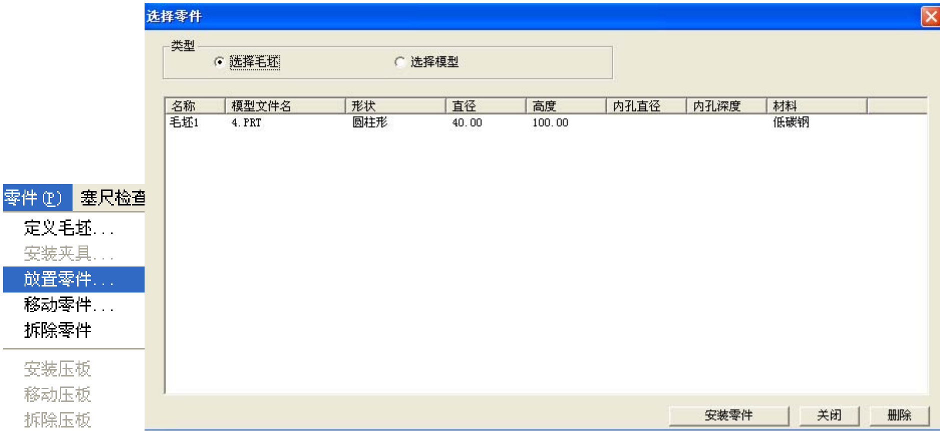


图 6-70　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 4 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2、切槽刀具 T3、螺纹刀具 T4。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片；切槽刀具 T3 选择 5mm 刀片；螺纹刀具 T4 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-71 所示，分别设置每把刀具。

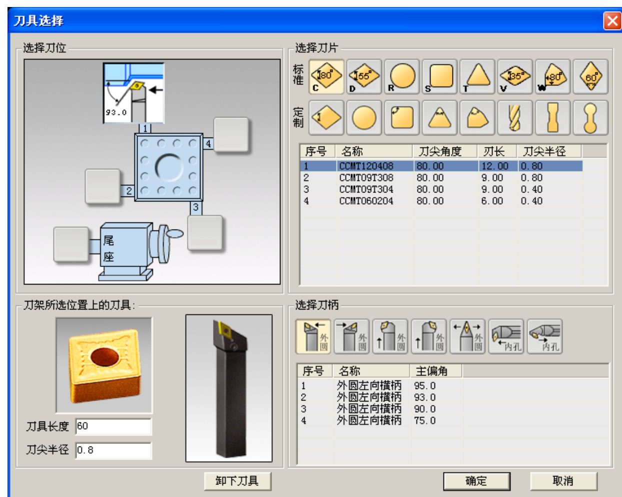


图 6-71　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-72 所示。

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

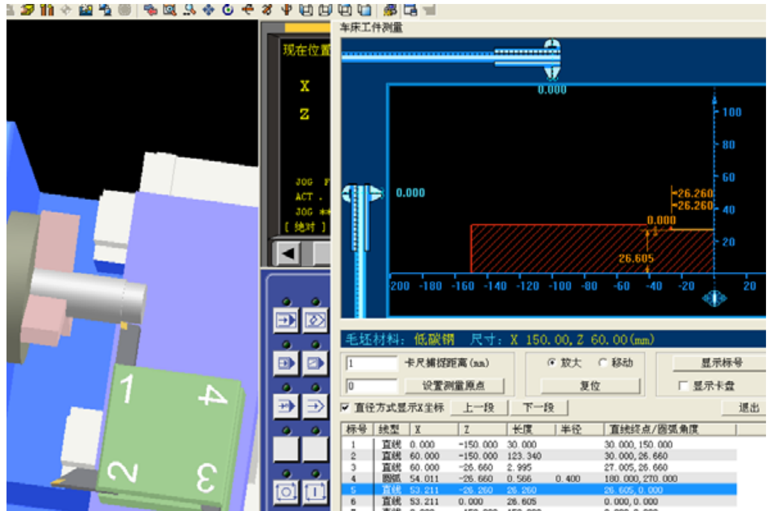


图 6-72　外圆对刀

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-73 所示。

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

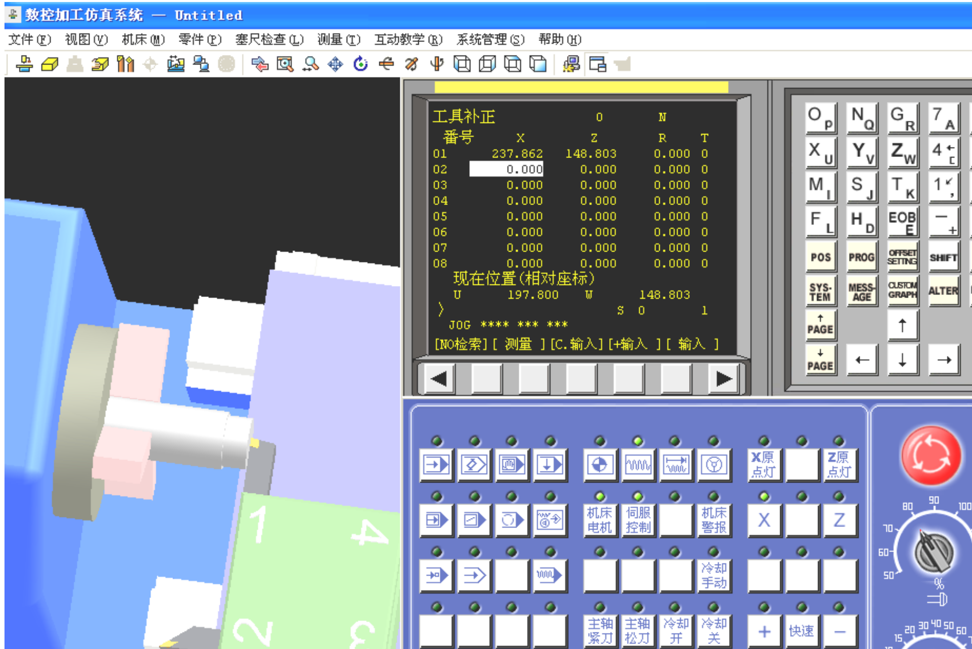


图 6-73　端面对刀

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量...”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余 2 把刀具进行对刀及设置。完成 3 把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-74 所示。



图 6-74　刀具形状补偿参数对话框

8. **自动加工**

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-75 所示。

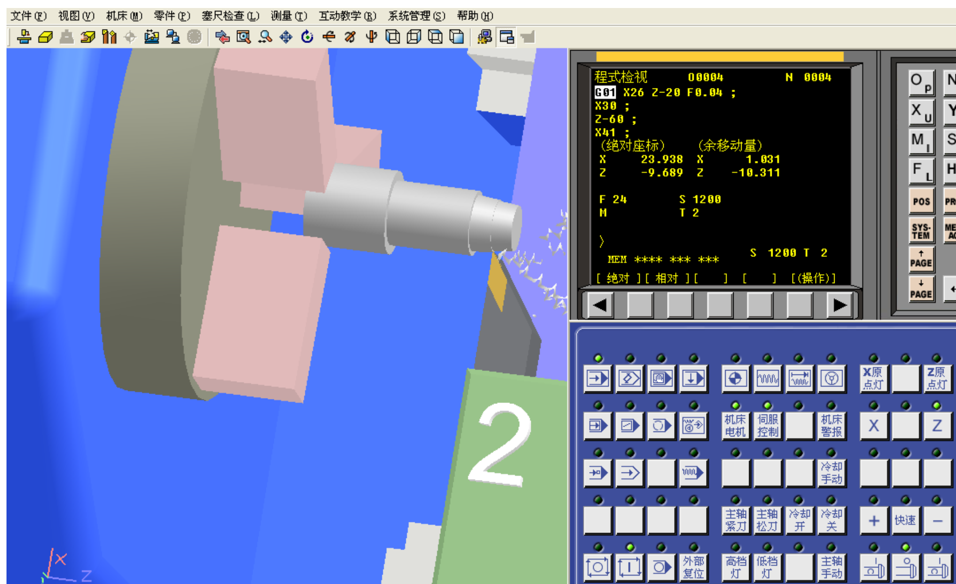


图 6-75　零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-76 所示。

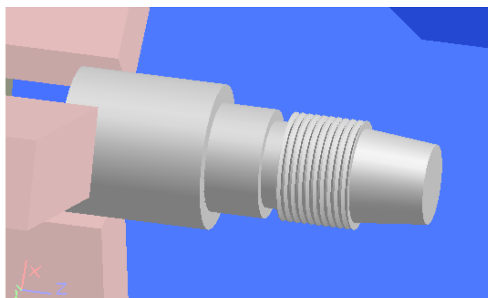


图 6-76　零件加工结果

6.4.7　检测与分析

1. **检测与分析项目**

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测与分析零件尺寸**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量 ...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-77 所示。

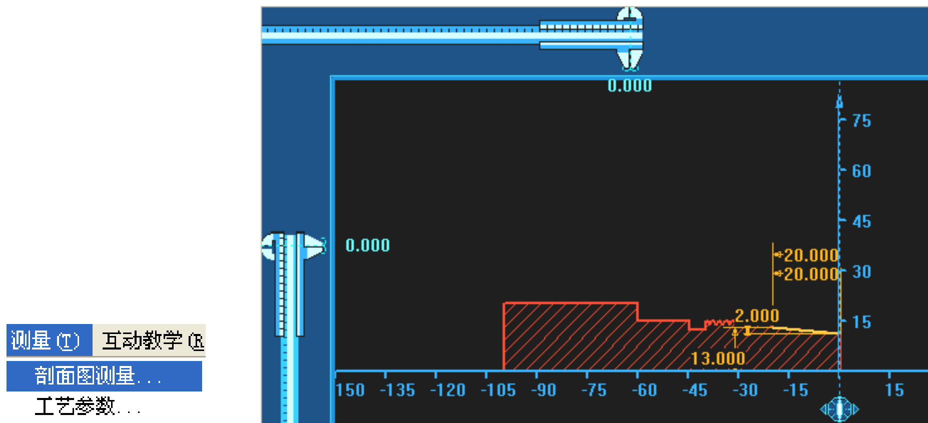


图 6-77　尺寸检查

6.5　应用复合循环功能的零件数控车削仿真加工

6.5.1　零件图样及信息分析

如图 6-78 所示轴类零件，毛坯是ϕ55mm×120mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面、圆弧面和圆锥面组成的回转体零件。从零件表面粗糙度分析，需要进行粗车和精车分开加工。

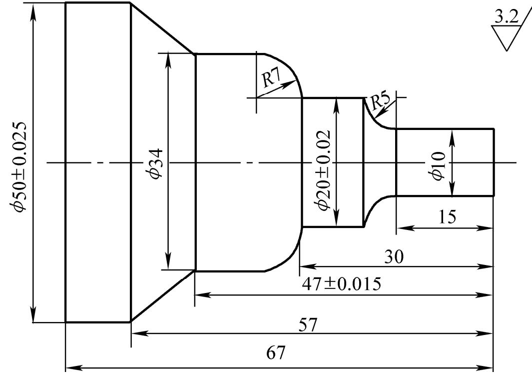


图 6-78　零件图

6.5.2　相关基础知识

在复合固定循环中，对零件的轮廓定义之后，即可完成从粗加工到精加工的全过程，使程序得到进一步简化。

1．**外圆粗车循环**

外圆粗车循环是一种复合固定循环，适用于外圆柱面需多次走刀才能完成的粗加工，如图 6-79 所示。

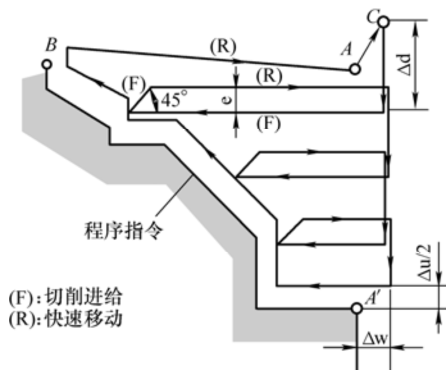


图 6-79　外圆粗车循环

格式：

G71　U(Δd)__　R(e)__

G71　P(ns)__　Q(nf)__　U(Δu)__　W(Δw)__　F(f)__　S(s)__　T(t)__

其中：

Δd—— 背吃刀量；

e——退刀量；

ns——精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf——精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu——X 轴向精加工余量和方向；

Δw——Z 轴向精加工余量和方向；

f、s、t——F、S、T 代码，在 G71 程序段中的 F、S、T 功能有效。



注意

1）ns→nf 程序段中的 F、S、T 功能即使被指定也对粗车循环无效。

2）零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减少；X 轴、Z 轴方向非单调时，ns→nf 程序段中第一条指令必须在 X、Z 向同时有运动。

2．端面粗车循环

端面粗车循环是一种复合固定循环，适用于 Z 向余量小、X 向余量大的棒料粗加工，如图 6-80 所示。

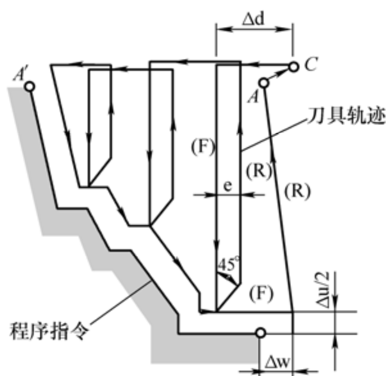


图 6-80　端面车削复合循环

格式：

G72　U(Δd)　R(e)

G72　P(ns)　Q(nf)　U(Δu)　W(Δw)　F(f)　S(s)　T(t)

其中：

Δd——背吃刀量；

e——退刀量；

ns——精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf——精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu—— X 轴向精加工余量和方向；

Δw—— Z 轴向精加工余量和方向；

f、s、t—— F、S、T 代码，在 G72 程序段中的 F、S、T 功能有效。

3．封闭切削循环

封闭切削循环是一种复合固定循环，如图 6-81 所示。封闭切削循环适于对铸、锻毛坯切削，对零件轮廓的单调性则没有要求。

格式：

G73　U(Δi)__　W(Δk)__　R(d)__

G73　P(ns)__　Q(nf)__　U(Δu)__　W(Δw)__　F(f)__　S(s)__　T(t)__

其中：

Δi——X 轴向总退刀量（半径值）；

Δk——Z 轴向总退刀量；

d—— 重复加工次数；

ns—— 精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf—— 精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu——X 轴向精加工余量和方向；

Δw——Z 轴向精加工余量和方向；

f、s、t——F、S、T 代码，在 G72 程序段中的 F、S、T 功能有效。

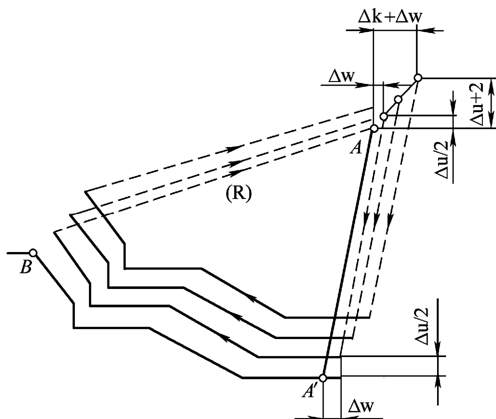


图 6-81　封闭切削循环

4. 精加工循环

由 G71、G72、G73 完成粗加工后，可以用 G70 进行精加工。精加工时，G71、G72、G73 程序段中的 F、S、T 指令无效，只有在 ns→nf 程序段中的 F、S、T 才有效。

格式：G70　P（ns）　Q（nf）

其中：

ns—— 精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf—— 精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。

例 1：零件如图 6-82 所示，已知毛坯为 ϕ80mm 的圆棒料，按图样完成零件的外圆粗、精加工程序。假定粗、精加工由一把刀完成。

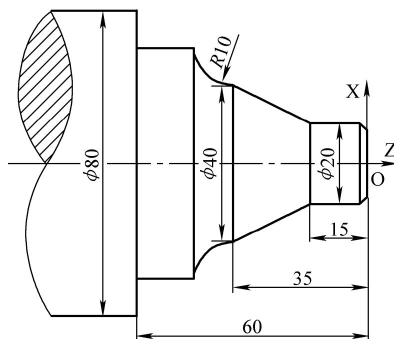


图 6-82　G71 与 G70 的应用实例

程序如下：

```
O2002
N010   G50   X150.0   Z80.0
N020   T0101
N030   M03   S800
N040   G00   X81.0   Z1.0
```

N050 G71 U3.0 R1.0
N060 G71 P070 Q150 U1.0 W0.5 F0.2
N070 G00 X16.0
N080 G96 S200
N090 G01 X20.0 Z-1.0 F0.1
N100 Z-15
N110 X40.0 Z-35.0
N130 G02 X60.0 Z-45.0 R10.0
N140 G01 Z-60.0
N150 X82.0
N160 G70 P070 Q150
N170 G00 X150.0 Z80.0
N180 T0100
N190 M30

例 2：按图 6-83 所示尺寸编写端面粗切循环加工程序。

程序如下：

N10 G50 X200 Z200 T0101
N20 M03 S800
N30 G90 G00 G41 X176 Z2 M08
N40 G96 S120
N50 G72 U3 R0.5
N60 G72 P70 Q120 U2 W0.5 F0.2
N70 G00 X160 Z60
//ns
N80 G01 X120 Z70 F0.15
N90 Z80
N100 X80 Z90
N110 Z110
N120 X36 Z132
//nf
N130 G00 G40 X200 Z200
N140 M30

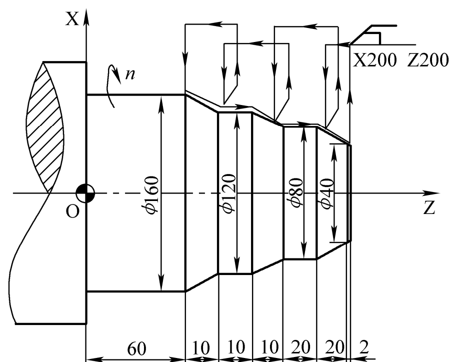


图 6-83 G72 与 G70 的应用实例

例 3：如图 6-84 所示，毛坯为一锻件，外圆粗加工余量为 9mm（半径值），长度粗加工余量为 9mm，计划粗加工分三刀完成。根据零件图形编制粗、精加工程序。1 号刀为外圆粗车刀，2 号刀为外圆精车刀。

根据题意，可确定出Δi=Δk=6 mm。程序编制如下：

O1002
N010 G50 X260.0 Z100.0

```
N020   T0101
N030   M03   S700
N040   G00   X70.0   Z74.0
N050   G73   U6   W6   R3;
N060   G73    P070    Q140    U1.0
W0.5   F0.25
N070   G00   X0   Z62.0
N080   G01   Z60.0   F0.08
N090   G03   X20.0   Z50.0   R10.0
N100   G01   X40.0   Z35.0
N110   Z25.0
N120   G02   Z5.0   R30.0
N130   G01   Z0
N140   X72.0
N150   G00   X260.0   Z100.0   T0100
N160   T0202
N170   G00   X70.0   Z74.0
N180   G70   P070   Q140
N190   G00   X260.0   Z100.0   T0200
N200   M30
```

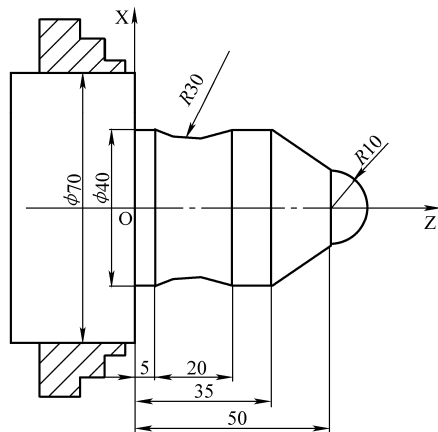


图 6-84　G73 与 G70 的应用实例

6.5.3　加工方法

1．零件装夹方式

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端。

2．确定加工顺序及进给路线

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 0.2mm。

2）从右至左连续精加工各表面。

3．刀具选择

根据加工要求，选用 2 把刀具，T01 为外圆粗车车刀、T02 为外圆精车车刀。

4．确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\dfrac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S800、F0.15；精车外圆选用 S1200、F0.04。

5. **编制数控加工程序**

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线的交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.5.4 走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的走刀路线如图 6-85 所示，图中展示了外圆粗加工走刀路线，从 *S* 点出发到达循环起点 *A*（52，2），切削路线由箭头标出，虚线表示每次的退刀路线。

6.5.5 零件程序

程序如下：

```
O0005
T0101
S800    M03
G00    X52    Z2
G71    U2    R1                        粗加工
G71    P20    Q100    U0.4    W0.2    F0.15
N20    G00    X10
G01    Z-15
G02    X20    Z-20    R5
G01    Z-30
G03    X34    Z-37    R7
G01    Z-47
X50    Z-57
Z-67
N100    X58
G00    X150    Z150
T0100
T0202
S1200    M03
G00    X52    Z2
G70    P20    Q100    F0.04            精加工
G00    X150    Z150
T0200
M30
```

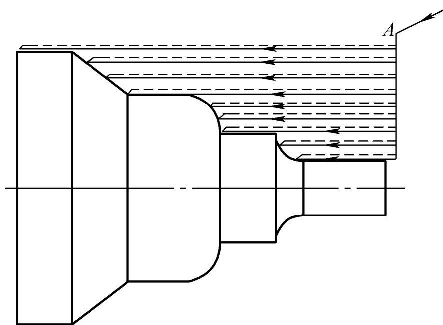


图 6-85 粗加工循环走刀路线

6.5.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床…”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-86 所示。



图 6-86　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照

下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的PROG，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键 [操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0005”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送 ...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-87 所示。

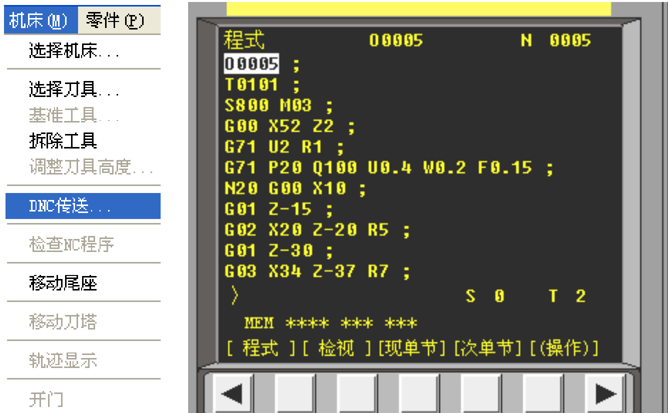


图 6-87 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-88 和图 6-89 所示。

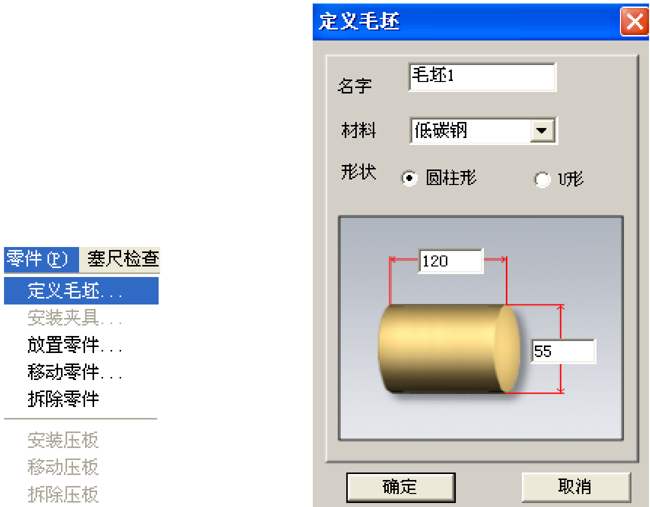


图 6-88 定义毛坯



图 6-89　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 2 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-90 所示，分别设置每把刀具。

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量...”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-91 所示。



图 6-90　刀具的选择

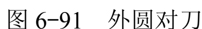


图 6-91　外圆对刀

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-92 所示。

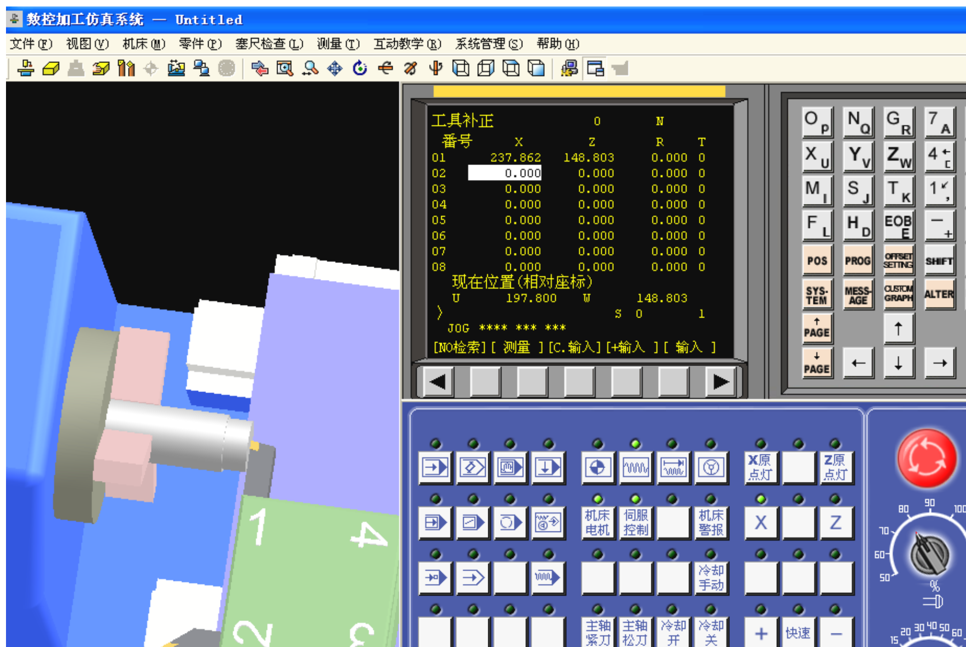


图 6-92　端面对刀

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余两把刀具进行对刀及设置。完成三把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-93 所示。



图 6-93 刀具形状补偿参数对话框

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-94 所示。

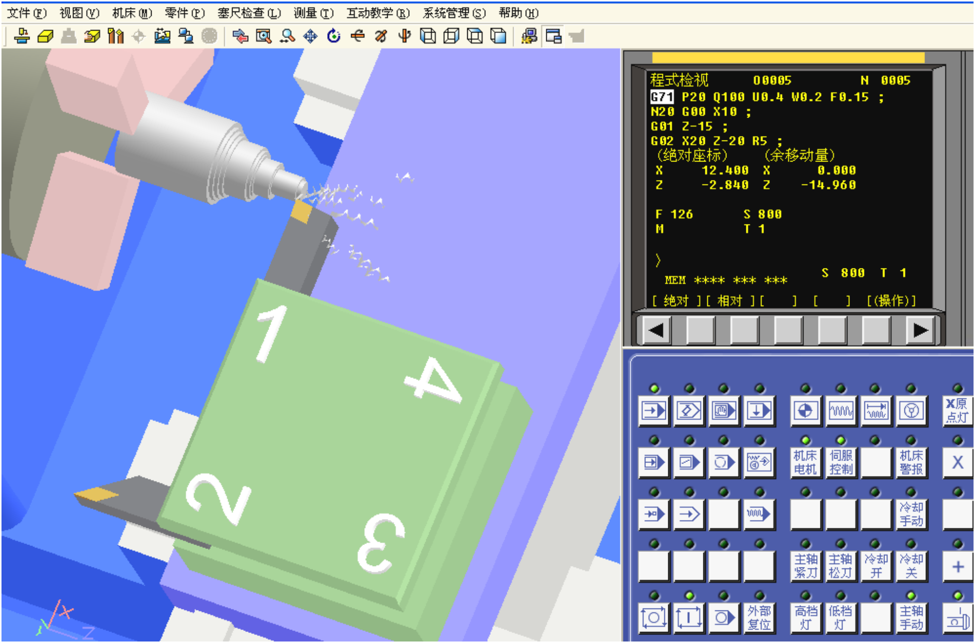


图 6-94 零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-95 所示。

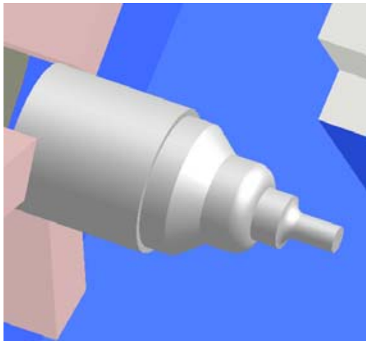


图 6-95　零件加工结果

6.5.7　检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。
2）检查最终的零件形状是否正确。
3）检查操作过程是否规范。
4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-96 所示。

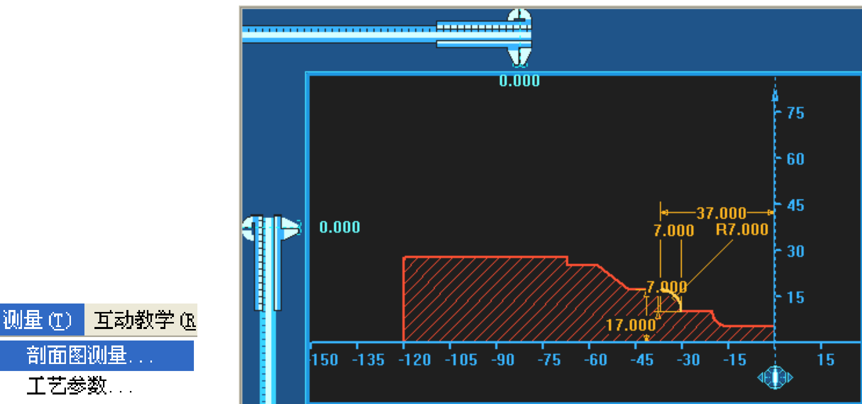


图 6-96　尺寸检查

6.6 典型轴类零件数控车削综合仿真加工

6.6.1 零件图样及信息分析

如图 6-97 所示零件，是三件锥度组合件（图 6-98）的锥轴零件。毛坯是 ϕ40mm×75mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面、圆锥面及螺纹组成的回转体零件。从零件表面粗糙度分析，需要进行粗车和精车分开加工；加工螺纹之前需要切退刀槽；同时，需要调头进行加工，保证零件中标注出的尺寸。

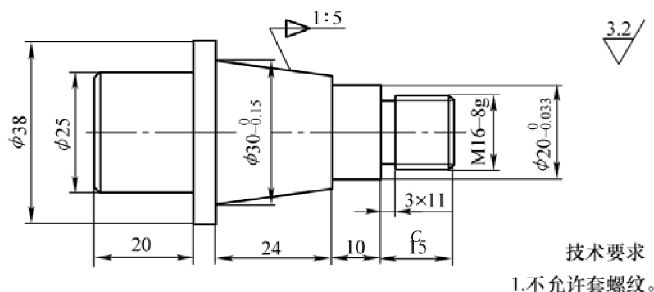


图 6-97　零件图

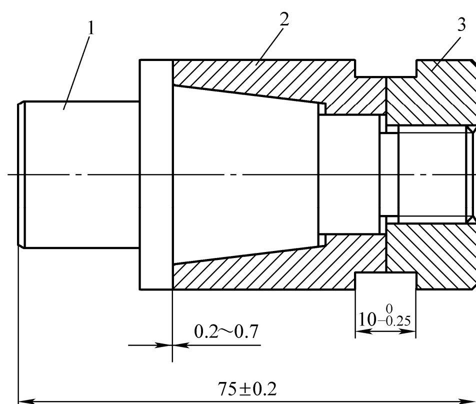


图 6-98　三件锥度组合件
1—锥轴　2—锥套　3—螺母

6.6.2 相关基础知识

相关的基础知识主要用到前面的 G90、G71、G70 及 G32 或 G92 指令，在前

面已经有详细的说明。

6.6.3　加工方法

1．确定零件装夹方式

（1）装夹一

夹毛坯任意一端，车端面及见光外圆，然后打中心孔（用仿真软件可以忽略这步）。

（2）调头装夹二

加工零件左端。

（3）调头装夹三

夹持工件左端，并用顶尖进行装夹（用仿真软件可以忽略用顶尖进行装夹）

2．确定加工顺序及进给路线

1）车端面及见光外圆，手动打中心孔（用仿真软件可以忽略这步）。

2）调头，从右至左粗车零件左端，留精加工余量 1mm。

3）从右至左精车零件左端。

4）调头，从右至左粗车零件左端，留精加工余量 0.2mm。

5）从右至左精车零件左端。

6）加工螺纹退刀槽。

7）车螺纹。

3．刀具选择

根据加工要求，选用 4 把刀具，T01 为外圆粗车刀；T02 为外圆精车刀；T3 为切削刃宽 3mm 的切槽刀；T4 为螺纹车刀。

4．确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\dfrac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S800、F0.15；精车外圆选用 S1200、F0.04；切槽选用 S400、F0.1；切螺纹选用 S600、F1.5（M16 细牙螺纹螺距为 1.5mm）。

5．编制数控加工程序

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.6.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。如图 6-99 所示，图中展示了加工零件左端的走刀路线，循环起点 *S*（42，2）；如图 6-100 所示，图中展示了加工零件右端的走刀路线，循环起点 *S*（42，1）。切槽及螺纹加工走刀路线简单，省略。

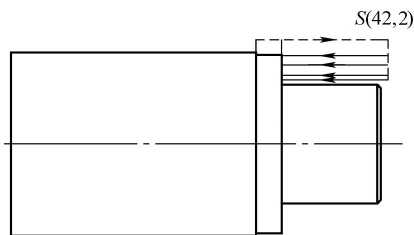


图 6-99　加工零件左端走刀路线

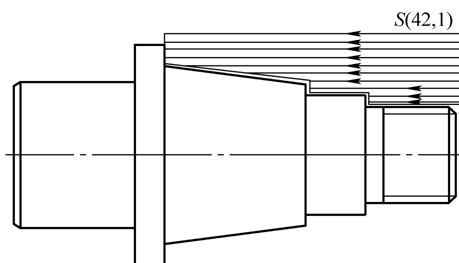


图 6-100　加工零件右端走刀路线

6.6.5　零件程序

程序如下：

```
O0006
T0101                                   粗车左端
S800   M03
G00   X42   Z2
G90   X39   Z-26   F0.15
X35   Z-20
X30
X26
G00   X150   Z150
```

```
T0100
T0202                                       精车左端
S1200  M03
G00  X21  Z1
G01  X25  Z-1  F0.04
Z-20
X38
Z-26
G00  X150  Z150
T0200
M00                                         调头等待
T0101                                       粗车右端
S800  M03
G00  X42  Z1
G71  U2  R1
G71  P20  Q100  U0.4  W0.2  F0.15
N20  G00  X12
G01  X16  Z-1
Z-15
X20
Z-25
X25.2
X30  Z-49
N100  X42
G00  X150  Z150
T0100
T0202                                       精车右端
S1200  M03
G00  X42  Z1
G70  P20  Q100  F0.04
G00  X150  Z150
T0200
T0303                                       切螺纹退刀槽
S400  M03
G00  X22  Z-15
G01  X11  F0.1
```

```
G00  X150
Z150
T0300
T0404                                    切螺纹
S600  M03
G00  X18  Z4
G92  X15.2  Z-13  F1.5
X14.6
X14.2
X14.052
G00  X150  Z150
T0400
M30
```

6.6.6 仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床 ...”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-101 所示。



图 6-101 选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0006”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-102 所示。

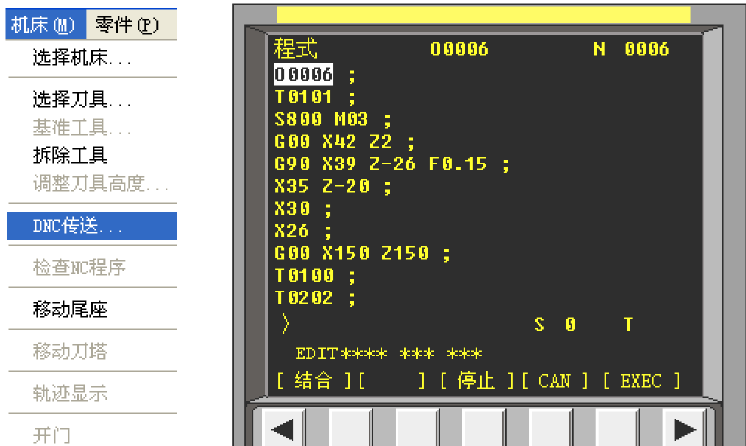


图 6-102　程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-103 和图 6-104 所示。

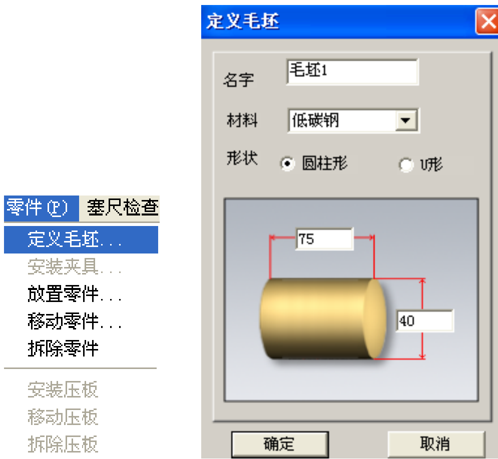


图 6-103　定义毛坯

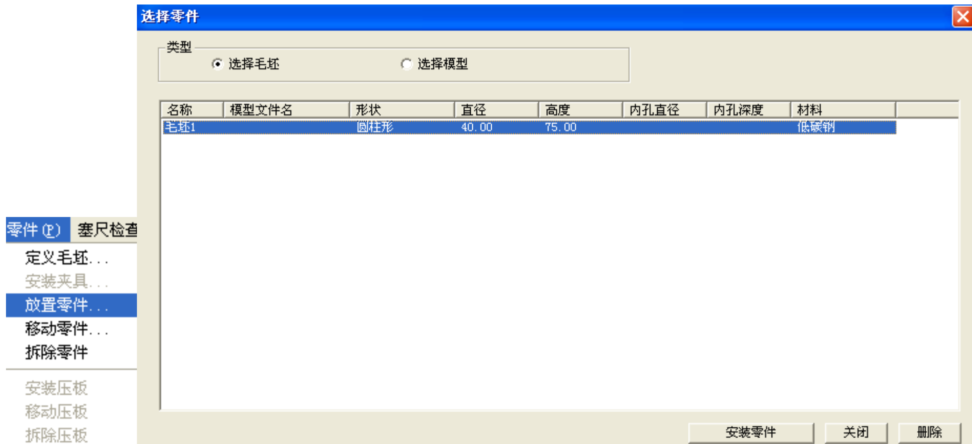


图 6-104　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择 4 种刀具：粗车外圆刀具 T1、精车外圆刀具 T2、切槽刀具 T3、螺纹刀具 T4。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片；切槽刀具 T3 选择 3mm 刀片；螺纹刀具 T4 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-105 所示，分别设置每把刀具。

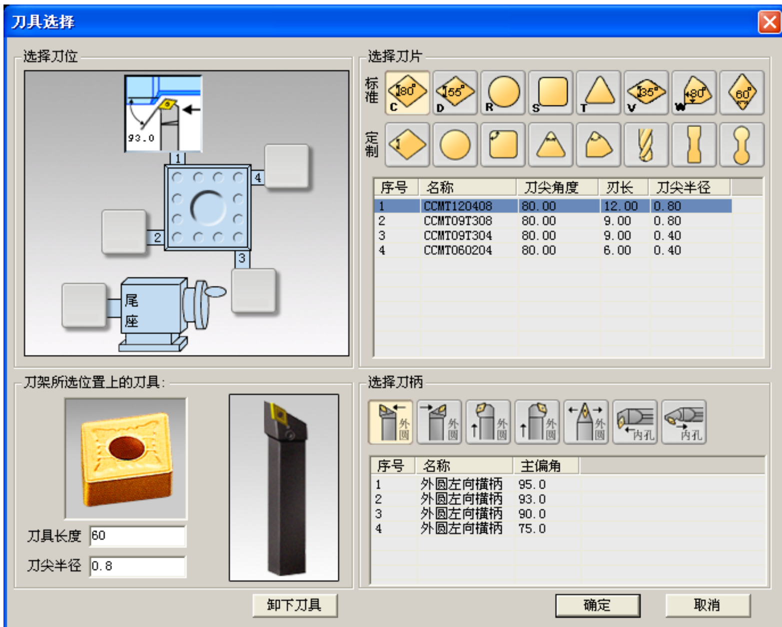


图 6-105　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量...”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-106 所示。

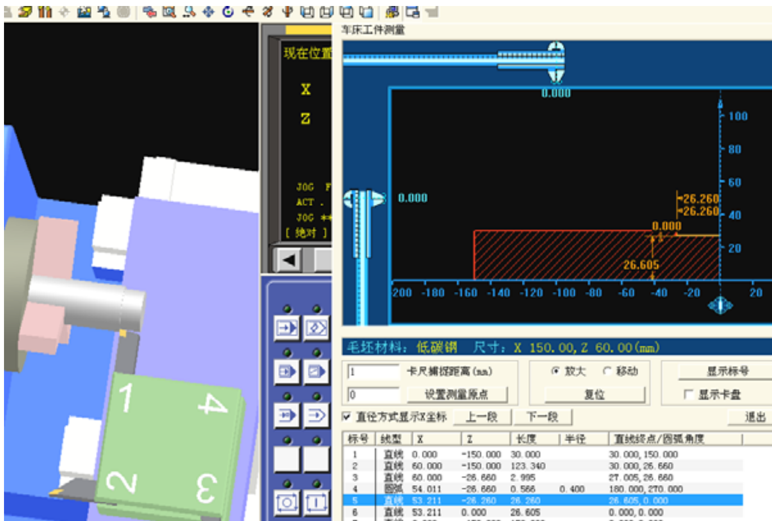


图 6-106　外圆对刀

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-107 所示。

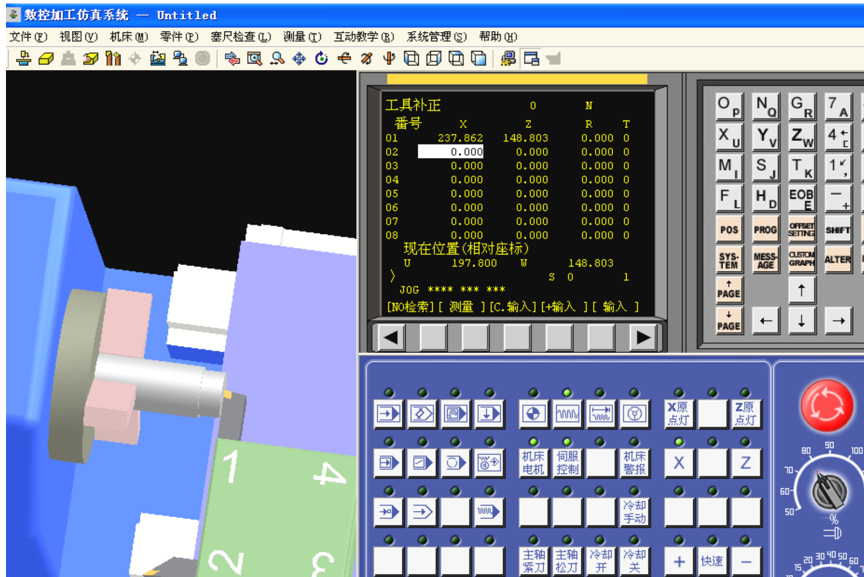


图 6-107 端面对刀

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

第三步：按照第一、二步对刀方法，对其余两把刀具进行对刀及设置。完成三把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-108 所示（因软件本身原因，有时候对刀以绝对坐标系作为计算基准，得到正值，这个思路严格说是不正确的，但不会影响整个程序的正确执行）。



图 6-108　刀具形状补偿参数对话框

8. 自动加工 1

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-109 所示。

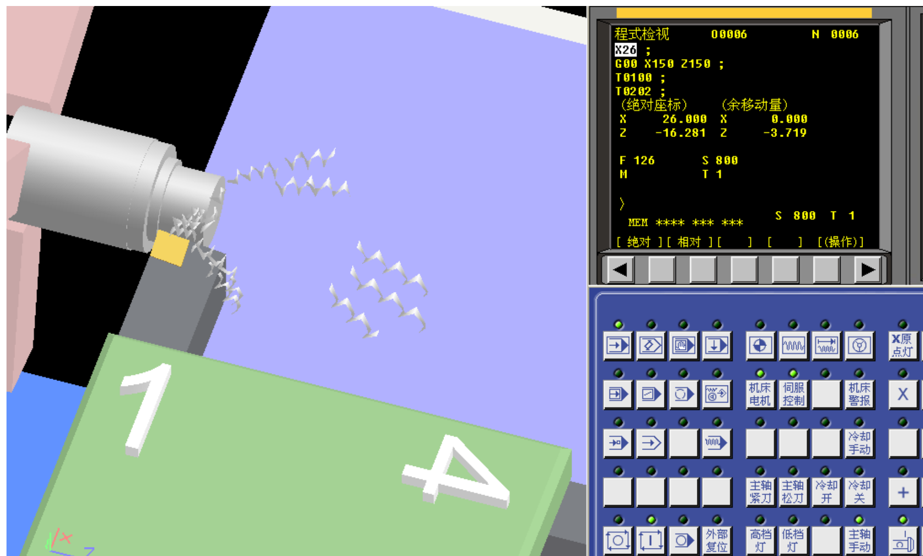


图 6-109　零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-110 所示。

9. 调头装夹

单击菜单“零件”→“移动零件…”，出现图 6-111 右所示对话框，单击中间调头图标，并单击调整零件。

图 6-110 加工零件左端结果

图 6-111 调头装夹

10. **自动加工 2**

因为工件伸出卡盘长度相同，所以可以不再对刀；同时采用 M00 暂停，只需要单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-112 所示。

图 6-112 零件自动加工过程

最终零件右端加工结果如图 6-113 所示。

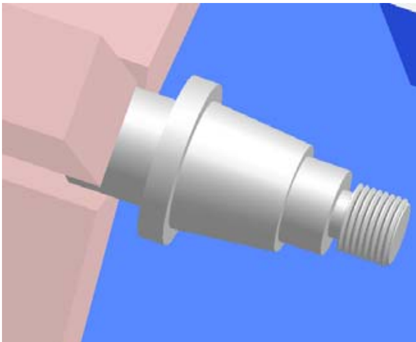


图 6-113　加工零件右端结果

6.6.7　检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-114 所示。

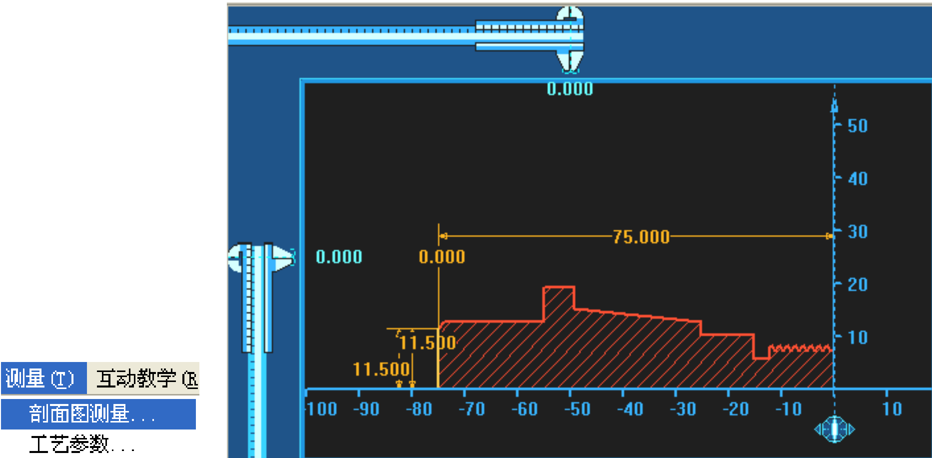


图 6-114　尺寸检查

6.7 典型套类零件数控车削综合仿真加工

6.7.1 零件图样及信息分析

如图 6-115 所示零件，是三件锥度组合件（图 6-98）的锥套零件。毛坯是 ϕ38mm×35mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面和圆锥面组成的回转体零件。从零件表面粗糙度分析，需要进行粗车和精车分开加工；同时由于在仿真软件中，反镗孔刀具参数会在加工过程中产生干涉，故不采用反镗加工，因此需要调头进行加工，保证零件标注出的尺寸。

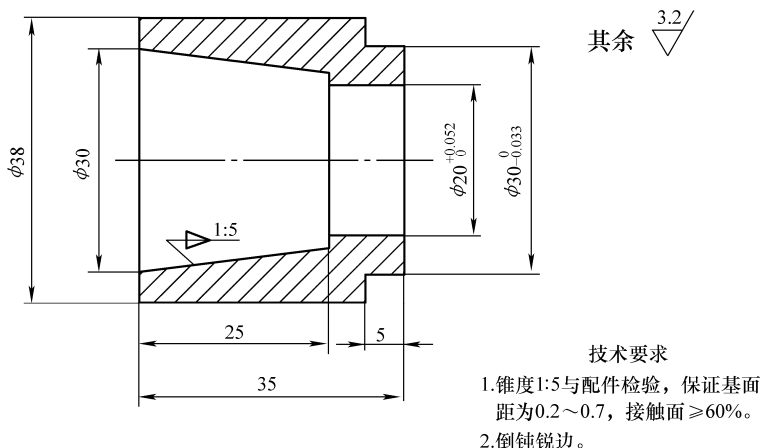


图 6-115　零件图

6.7.2 相关基础知识

相关的基础知识主要用到前面的 G90、G71、G70 及 G32 或 G92 指令，在前面已经有详细的说明。

这里需要重点说明的是，在加工内孔时，如采用 G71 指令，其中的参数Δu、Δw 有方向（即“+、−”）。

格式：

G71　U(Δd)__　R(e)__

G71　P(ns)__　Q(nf)__　U(Δu)__　W(Δw)__　F(f)__　S(s)__　T(t)__

其中：

Δd —— 背吃刀量；

e —— 退刀量；

ns—— 精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；
nf—— 精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；
Δu——X 轴向精加工余量和方向；
Δw——Z 轴向精加工余量和方向；
f、s、t——F、S、T 代码。
Δu、Δw 的方向请参考图 6-116。

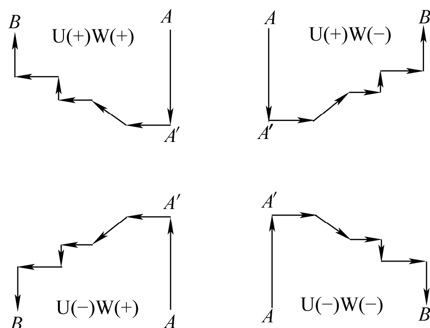


图 6-116　Δu、Δw 的方向判定

6.7.3　加工方法

1．确定零件装夹方式

（1）装夹一
夹毛坯任意一端，车外圆；
（2）调头装夹二
加工零件内孔。

2．确定加工顺序及进给路线

1）从右至左粗车零件右端，留精加工余量 1mm。
2）从右至左精车零件右端。
3）钻空（手动）。
4）从右至左粗车零件内孔。
5）从右至左精车零件内孔。

3．刀具选择

根据加工要求，选用 4 把刀具：T01 为外圆粗车刀，T02 为外圆精车刀，T03 为粗车内孔刀，T04 为精车内孔刀。

4. **确定切削用量**

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\frac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S800、F0.15；精车外圆选用 S1200、F0.04；粗车内孔选用 S900、F0.1；精车内孔选用 S1200、F0.05。

5. **编制数控加工程序**

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.7.4 走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。如图 6-117 所示，图中展示了从右至左粗车零件右端的走刀路线，循环起点 *S*（40，2）；如图 6-118 所示，图中展示了加工零件内孔的走刀路线，循环起点 *S*（17，2）。

6.7.5 零件程序

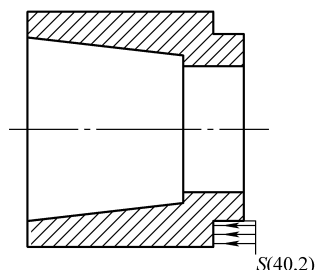


图 6-117 车零件右端走刀路线

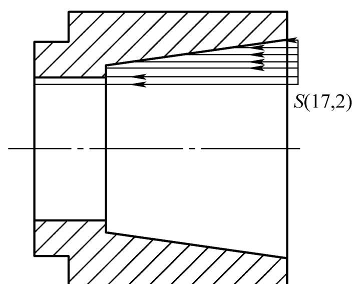


图 6-118 车内孔走刀路线

```
O0007
T0101;                    粗车右端外圆
S800  M03
G00  X40  Z2
G90  X35  Z-5  F0.15
X33
X31
G00  X150  Z150
T0100
T0202;                    精车右端外圆
S1200  M03
G00  X40  Z2
G90  X30  Z-5  F0.04
G00  X150  Z150
T0200
M00                       调头
T0303                     粗车内孔
M03  S900
G00  X17  Z2
```

```
G71   U2    R1
G71   P10   Q20   U-0.4   W0.2   F0.15
N10   G00   X30.4
G01   X25   Z-25
X20
Z-37
N20   X17
G00   X150   Z150
T0300
T0404                      精车内孔
G00   X17   Z2
G70   P10   Q20
G00   X150   Z150
T0400
M30
```

6.7.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床...”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-119 所示。



图 6-119　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0007”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-120 所示。



图 6-120 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-121 和图 6-122 所示。



图 6-121　定义毛坯

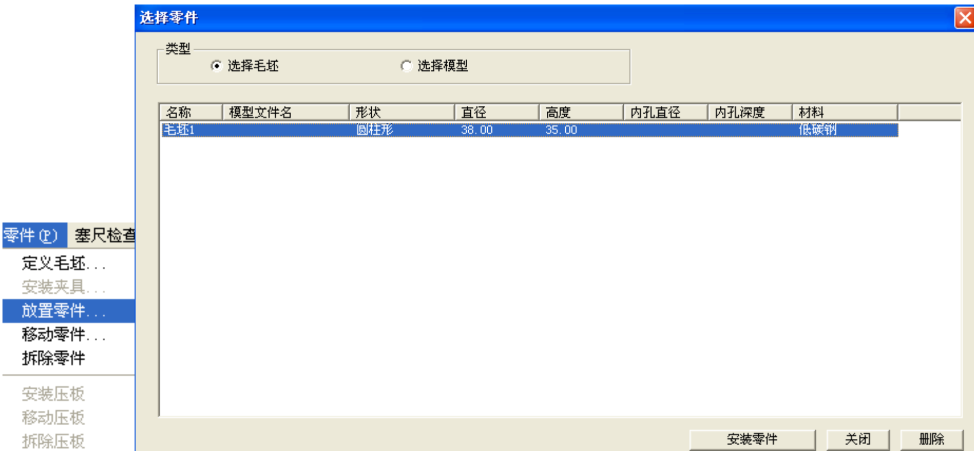


图 6-122　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里先选择 2 种刀具：粗车外圆刀具 T1；

精车外圆刀具 T2。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-123 所示，分别设置每把刀具。

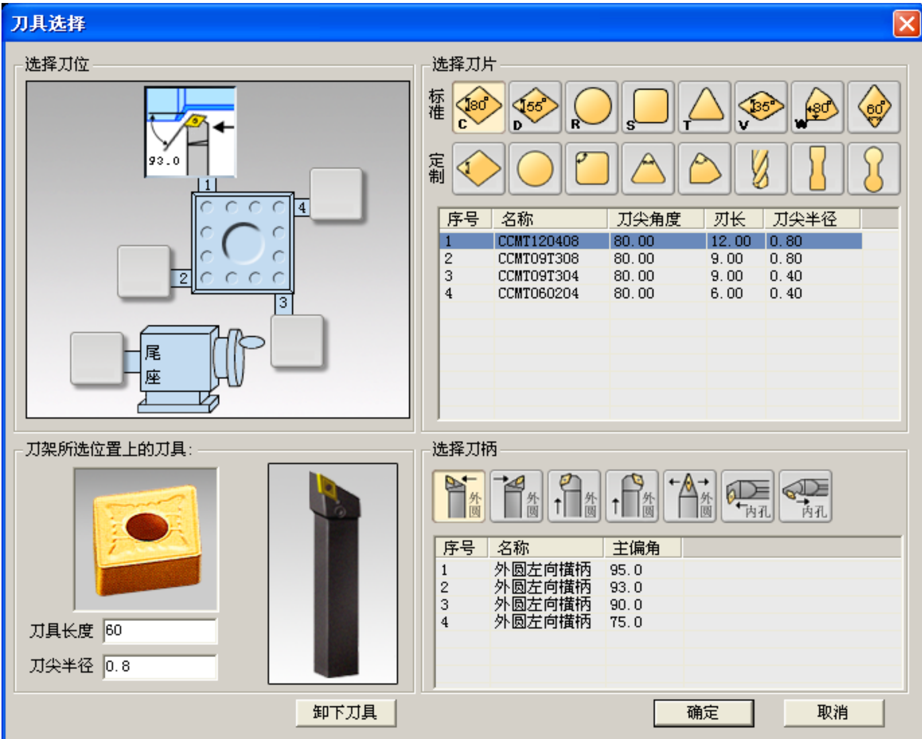


图 6-123 刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。

第一步：用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量…”，得到试切后的工件直径记为 α，如图 6-124 所示。

保持 X 轴方向不动，刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具偏移量自动输入。

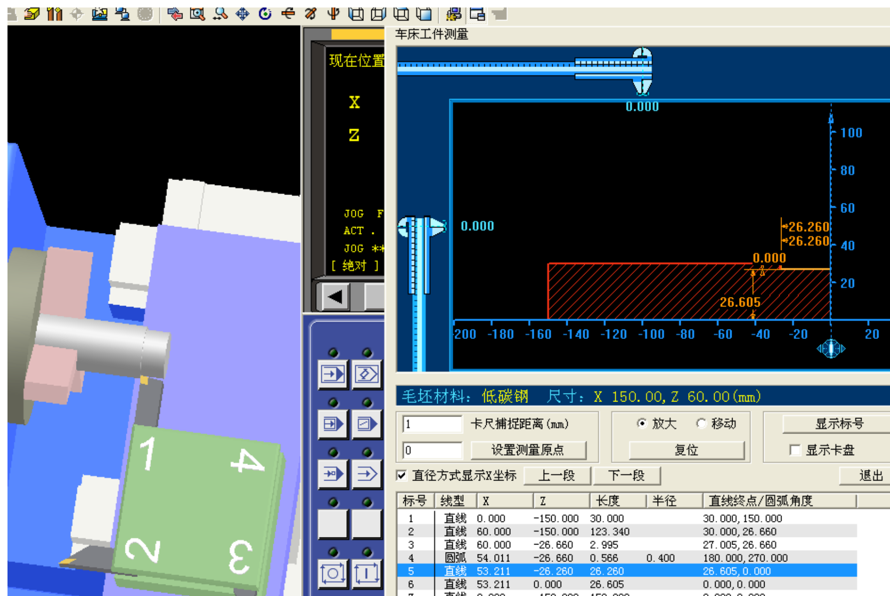


图 6-124　外圆对刀

第二步：试切工件端面，把端面在工件坐标系中 Z 的坐标值记为 β（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 β 为 0），如图 6-125 所示。

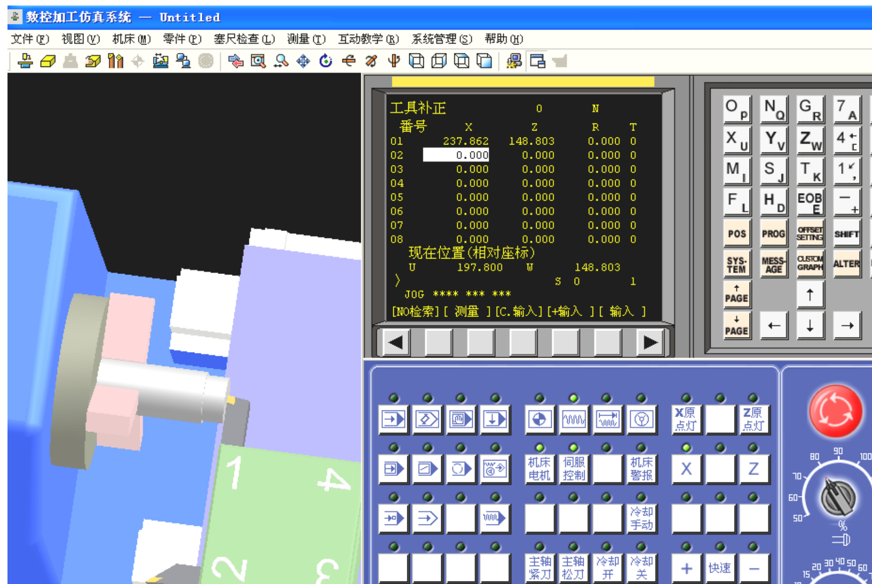


图 6-125　端面对刀

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的刀具偏移量自动输入。

以上两步也可以用所选刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β。刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

第三步：按照第一、二步对刀方法，对另外一把刀具进行对刀及设置。完成两把刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-126 所示。



图 6-126　刀具形状补偿参数对话框

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-127 所示。

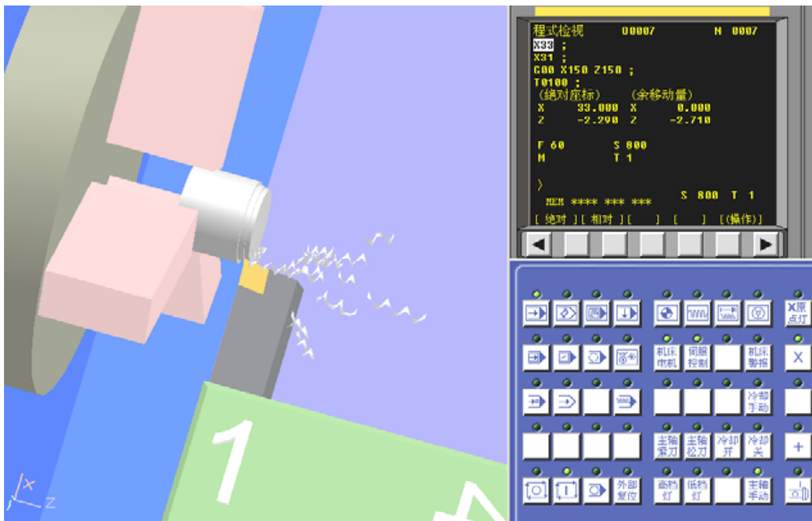


图 6-127　零件自动加工过程

最终零件加工结果如图 6-128 所示。

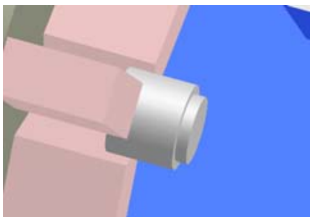


图 6-128　加工零件右端外圆结果

9. **调头装夹**

单击菜单“零件/移动零件…”，出现图 6-129 所示对话框，单击中间调头图标，并单击调整零件。

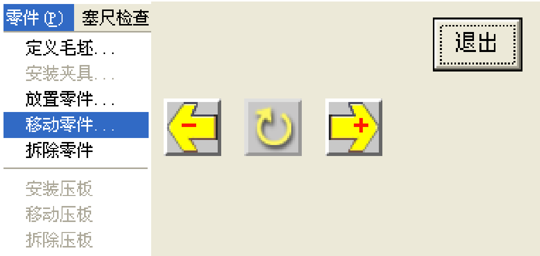


图 6-129　调头装夹

10. **安装钻头**

单击菜单“机床”→“选择刀具…”，在“选择刀位”中单击“尾座”图标，选择图 6-130 所示钻头。

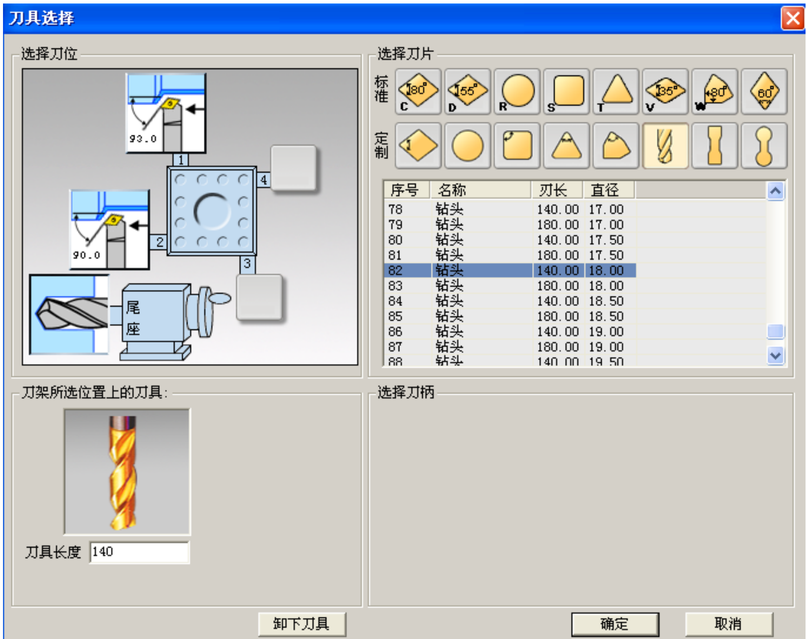


图 6-130　安装钻头

11. **手动钻孔**

单击菜单“机床”→“移动尾座…”，出现图 6-131 所示对话框。

先将刀架移动到离工件很近的位置，在手动模式下单击，让主轴旋转，然后单击移动尾座钻孔，钻通，如图 6-132 所示。钻孔完成后，移动回原来位置，停止主轴。

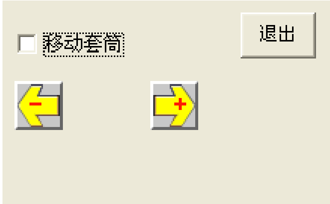


图 6-131　移动尾座图标

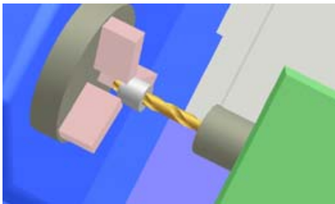


图 6-132　手动钻孔

单击菜单“机床”→“拆除工具”，尾座及刀架上的刀具都被拆除。

12. **内孔刀具的选择及安装**

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择两种刀具：粗车内孔刀具 T3 和精车内孔刀具 T4。

2）选择刀片类型：粗车内孔刀具 T3 选择刀片；精车内孔刀具 T4 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-133 所示，分别设置两把刀具，注意刀具的直径及加工深度参数。

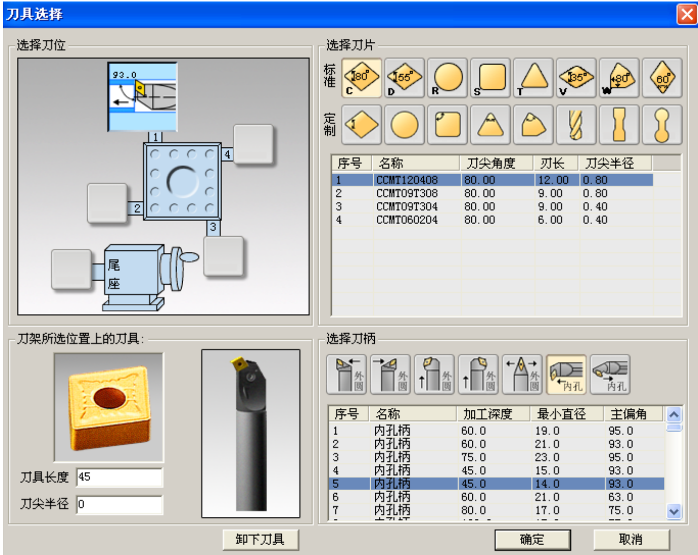


图 6-133　刀具的选择

13．**对刀**

在此采用“输入刀具偏移量”方式。移动刀架，起动主轴，靠近工件。

为了方便观察，单击菜单“视图”→“俯视图”。因为刀具切削内孔对刀，为了看清楚内孔切削情况，单击菜单“视图”→“选项…”，出现图 6-134 所示对话框，“零件显示方式”选择“剖面（车床）”选项。

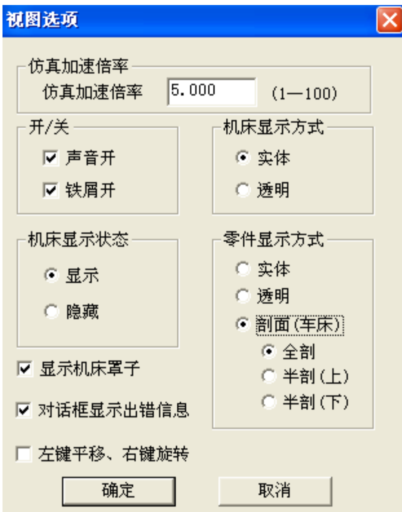


图 6-134　视图选择

第一步：用 3 号刀具试切工件内孔，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β，如图 6-135 所示。

刀具退出。单击 MDI 键盘上的OFFSET SETTING键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

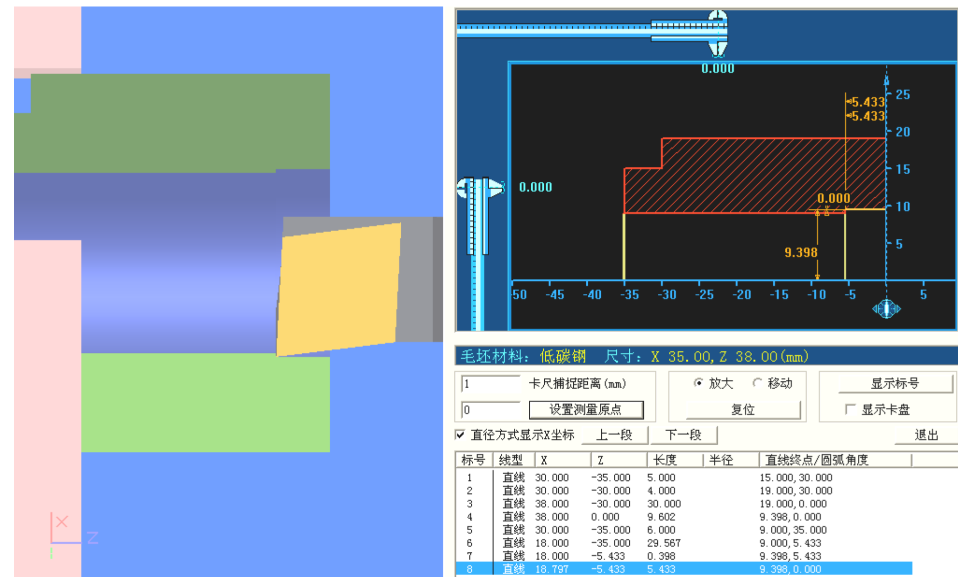


图 6-135　内孔对刀

第二步：选择模式，在程序模式下输入“T0404”，换上 4 号刀具。按照第一步对刀方法，对另外一把刀具进行对刀及设置。完成 4 号刀具对刀后的刀具形状补偿对话框，如图 6-136 所示。



图 6-136 刀具形状补偿参数对话框

14. 自动加工

选择自动加工模式，将程序中光标移动到 M00 后面一句，单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-137 所示。



图 6-137 零件自动加工过程

最终零件右端加工结果如图 6-138 所示。

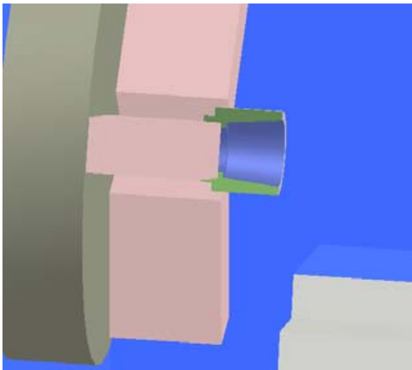


图 6-138　加工零件右端结果

6.7.7　检测与分析

1．检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2．检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-139 所示。

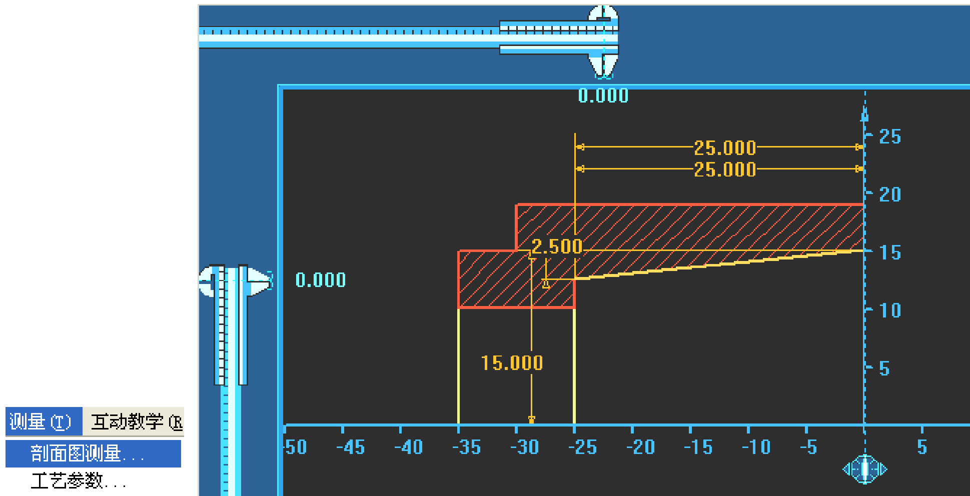


图 6-139　尺寸检查

6.8　应用宏程序的零件数控车削综合仿真加工

6.8.1　零件图样及信息分析

如图 6-140 所示轴类零件，毛坯是ϕ60mm×100mm 的棒材，材料为 45 钢，切削性能较好。零件表面主要是由圆柱面、圆锥面和椭圆面组成的回转体零件。从零件表面粗糙度分析，需要进行粗车和精车加工。

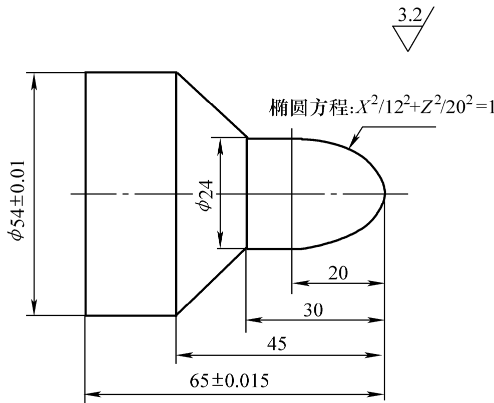


图 6-140　零件图

6.8.2　相关基础知识

1. 用户宏程序基本概念

用户宏程序（Custom Macro）是以变量的组合，通过各种算术和逻辑运算、转移和循环等命令编制的一种可以灵活运用的程序，只要改变变量的值，即可完成不同的加工操作。

用户宏程序具有以下特点：

1）用户宏功能主体是一系列指令，相当于子程序体。

2）宏指令是代表一系列指令的总指令，相当于子程序调用指令。

3）用户宏功能的最大特点是，可以对变量进行运算，使程序应用更加灵活、方便。

4）用户宏功能有 A、B 两类，目前主要采用 B 类用户宏功能。

2．宏功能介绍

（1）变量的表示

变量用“#”号和跟随其后的变量序号表示：#i（i=1，2，3，……）。

例：#5，#109，#501。

（2）变量的引用

将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替，即引入了变量。

例：对于 F#103，若#103=50 时，则为 F50；

对于 Z-#110，若#110=100 时，则 Z 为-100；

对于 G#130，若#130=3 时，则为 G03。

使用限制：

宏变量不能用于程序号、程序段顺序号、程序段跳段编号。如不能用于以下情况：

O#1；

/#2　G00　X100.0；

N#3　Y200.0。

（3）变量的类型

变量类型参见表 6-2。

表 6-2　变量类型

变　量　号	变 量 类 型	功　　能
#0	空变量	该变量通常为空（null），该变量不能赋值
#1～#33	局部变量 Local Variables	局部变量只能在宏程序内部使用，用于保存数据，如运算结果等。当电源关闭时，局部变量被清空，而当宏程序被调用时，（调用）参数被赋值给局部变量
#100～#149（#199） #500～#531（#999)	全局变量 Common Variables	全局变量可在不同宏程序之间共享，当电源关闭时，#100～#149 被清空，而#500～#531 的值仍保留。在某一运算中，#150～#199、#532～#999 的变量可被使用，但存储器磁带长度不得小于 8.5m
#1000～#9999	系统变量 System Variables	系统变量可读、可写，用于保存 NC 的各种数据项，如当前位置、刀具补偿值等



注意

全局变量#150～#199、#532～#999 是选用变量，应根据实际系统使用。

（4）算术和逻辑运算

表 6-3 中列出的操作可以用变量完成。表中右边的表达式可用常量或变量，

与函数或运算符组合表示。表达式中的变量#j 和#k 可用常量替换，也可用表达式替换。

表 6-3 算术和逻辑运算

函　　数	表 达 式	备　　注
赋值	#i=#j	
求和 求差 乘积 求商	#i=#j+#k #i=#j-#k #i=#j*#k #i=#j/#k	
正弦 余弦 正切 反正切	#i=SIN[#j] #i=COS[#j] #i=TAN[#j] #i=ATAN[#J]/[#k]	角度用十进制表示
平方根 绝对值 四舍五入 向下取整 向上取整	#i=SQRT[#j] #i=ABS[#J] #I=ROUND[#J] #I=FIX[#J] #I=FUP[#J]	
或 OR 异或 XOR 与 AND	#I=#J OR #K #I=#J XOR #K #I=#J	逻辑运算用二进制数按位操作
十→二进制转换 二→十进制转换	#I=BIN[#J] #I=BCD[#J]	用于转换发送到 PMC 的信号或从 PMC 接收的信号

3. B 类宏功能分支和循环

在程序中可用 GOTO 语句和 IF 语句改变控制执行顺序。分支和循环操作共有三种类型：

GOTO 语句：无条件分支（转移）；

IF 语句：条件分支（IF…，THEN…）；

WHILE 语句：循环（WHILE…）。

（1）无条件分支 GOTO 语句

控制转移（分支）到顺序号 n 所在位置。当顺序号超出 1～9999 的范围时，产生 128 号报警。顺序号可用表达式指定。

格式：GOTO n；

其中：n——（转移到的程序段）顺序号。

例：GOTO1；

GOTO#10；

（2）条件分支 IF 语句

在 IF 后指定一条件，当条件满足时，转移到顺序号为 n 的程序段；不满足则执行下一程序段。

格式：

IF [条件表达式]　GOTOn；

处理；

Nn …；

其中：条件表达式由两变量或一变量、一常数中间夹比较运算符组成，条件表达式必须包含在一对方括号内。条件表达式可直接用变量代替。

比较运算符由两个字母组成，用于比较两个值，来判断它们是相等，或一个值比另一个值小或大。注意不能用不等号。比较运算符含义参见表 6-4。

表 6-4　比较运算符含义

运　算　符	含　　义
EQ	相等（=）
NE	不等于（≠）
GT	大于（>）
GE	大于等于（≥）
LT	小于（<）
LE	小于等于（≤）

例：求 1～10 的和。

程序如下：

```
O9500;
#1=0;                       和
#2=1;                       加数
N1  IF[#2 GT 10]  GOTO2;    相加条件
#1=#1+#2;                   相加
#2=#2+1;                    下一加数
GOTO1;                      返回 1
N2  M30;                    结束
```

（3）循环 WHILE 语句

在 WHILE 后指定一条件表达式，当条件满足时，执行 DO 到 END 之间的程

序，然后返回到 WHILE 重新判断条件；不满足则执行 END 后的下一程序段。

格式：

WHILE [条件表达式]　DO m；（m=1，2，3，……）

处理；

END m；

说明：

1）WHILE 语句对条件的处理与 IF 语句类似。

2）DO 和 END 后的数字用于指定处理范围（称循环体）的识别号，数字可用 1、2、3 表示。当使用 1、2、3 之外的数时，产生 126 号报警。

例：求 1～10 的和。

程序如下：

```
O9501;
#1=0；
#2=1；
WHILE [#2 LE 10]　DO1；
#1=#1+#2；
#2=#2+1；
END1；
M30；
```

4. 调用宏程序

（1）宏程序调用方式

宏程序可用下述方式调用：

1）简单调用用 G65。

2）模态调用用 G66、G67。

3）G 代码调用宏程序。

4）M 代码调用宏程序。

5）用 M 代码的子程序调用。

6）用 T 代码的子程序调用。

（2）宏程序调用和子程序调用的区别

1）用 G65 可以指定实参（传送给宏程序的数据），而 M98 没有此能力。

2）当 M98 程序段包含其他 NC 指令（如：G01　X100.0　M98　Pp）时，在该指令执行完后调用子程序，而 G65 则无条件调用宏程序。

3）当 M98 程序段包含其他 NC 指令（如：G01　X100.0　M98　Pp）时，在程序单段运行模式下机床停止，而 G65 不会让机床停止。

4）用 G65 调用时，局部变量的层次被修改，而用 M98 调用不会更改局部变量

的层次。

（3）简单调用 G65

当指定用 G65 调用时，地址 P 后指定的用户宏程序被调用，同时数据（实参）被传递给用户宏程序。

格式：G65　Pp　Ll <实参描述>；

例：

```
O0001；
…
G65　P9010　L2　A1.0　B2.0；
…
M30；
```

```
O9010；
#3=#1+#2；
IF [#3 GT 360]　GOTO 9；
G00　G91　X#3；
N9　M99；
```

说明：

1）调用。在 G65 后用地址 P 指定需调用的用户宏程序号。当重复调用时，在地址 L 后指定调用次数（1～99）。L 省略时，调用次数是 1。

2）通过使用实参描述，数值被指定给对应的局部变量。实参描述。有实参描述类型 I 和实参描述类型 II 两种类型。实参描述类型 I（参见表 6-5）可同时使用除 G、L、O、N 和 P 之外的字母各一次；而实参描述类型 II（参见表 6-6）只能使用 A、B、C 各一次，使用 I、J、K 最多十次。实参描述类型根据使用的字符自动判断。

表 6-5　实参描述类型 I

地　址	变　量　号	地　址	变　量　号	地　址	变　量　号
A	#1	I	#4	T	#20
B	#2	J	#5	U	#21
C	#3	K	#6	V	#22
D	#7	M	#13	W	#23
E	#8	Q	#17	X	#24
F	#9	R	#18	Y	#25
H	#11	S	#19	Z	#26



注意

地址 G、L、N、O、P 不能用于实参；不需指定的地址可省略，省略地址对应的局部变量设成空（Null）。

表 6-6　实参描述类型 II

地　址	变　量　号	地　址	变　量　号	地　址	变　量　号
A	#1	K3	#12	J7	#23
B	#2	I4	#13	K7	#24
C	#3	J4	#14	I8	#25
I1	#4	K4	#15	J8	#26
J1	#5	I5	#16	K8	#27
K1	#6	J5	#17	I9	#28
I2	#7	K5	#18	J9	#29
J2	#8	I6	#19	K9	#30
K2	#9	J6	#20	I10	#31
I3	#10	K6	#21	J10	#32
J3	#11	I7	#22	K10	#33



注意

I、J、K 的下标（Subscripts）用于表示实参描述的顺序，实际程序中不需写出。

6.8.3　加工方法

1．确定零件装夹方式

装夹方式采用自定心卡盘夹持一端。

2．确定加工顺序及进给路线

1）从右至左粗加工各表面，留精加工余量 0.2mm。

2）从右至左连续精加工各表面。

3．刀具选择

根据加工要求，选用两把刀具：T01 为外圆粗车车刀；T02 为外圆精车车刀。

4．确定切削用量

根据被加工零件表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度和每转进给量，然后利用公式 $n=\dfrac{1000v_c}{\pi D}$，计算主轴转速（r/min），粗车外圆选用 S800、F0.15；精车外圆选用 S1200、F0.04。

5．编制数控加工程序

选用 FANUC 0i 的数控系统指令格式，先设定工件原点在工件右端面和轴心线交点，计算基点坐标，然后编写数控加工程序并检验。

6.8.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的走刀路线如图 6-141 所示，由于加工的量比较大，所以零件毛坯到轮廓 *ABCD* 采用 G71 循环加工，循环起点为 *S*（62，2）。

椭圆面走刀路线单独由宏程序实现，留 0.2mm 精车余量。加工时，需要考虑以下方法：

（1）粗加工

如果用短轴参数#1 表示，则 X 应该为 X=2*#1，#1 最大值为 12，对应的长轴参数#2=20*SQRT[1-#1*#1/144]。因为留 0.2mm 精车余量，则每层对应走刀终点坐标为（2*#1，#2-19.8）。

（2）精加工

精加工从轮廓线右端 *E* 点到左端 *F* 点，利用参数将轮廓细分成上千个插补点，坐标点确定与粗加工相同，只是没有 0.2mm 精车余量。

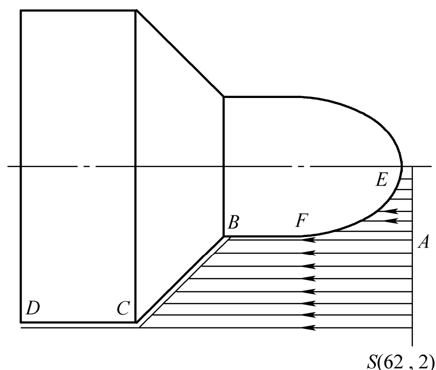


图 6-141　走刀路线

6.8.5　零件程序

程序如下：

```
O0008
T0101
S800    M03
G00    X62    Z2
```

```
G71  U2  R1                                     粗车零件毛坯到轮廓ABCD
G71  P20  Q100  U0.4  W0.2  F0.15
N20  G00  X24
Z-30
X54  Z-45
Z-65
N100  X62
#1=12                                           粗车椭圆
WHILE [#1 GT 0]  DO1
#1=#1-1
G01  X[2*#1]
#2=20*SQRT[1-#1*#1/144]
G01  Z[#2-19.8]
G00  X[2*#1+1]
G00  Z2
END1
G00  X150  Z150
T0100
T0202                                           精车所有轮廓
S1200  M03
G00  X1  Z0
#1=0
N150  IF [#1 GT 12]  GOTO 200
#2=20*SQRT[1-#1*#1/144]
G01  X[2*#1]  Z[#2-20]  F0.04
#1=#1+0.05
GOTO 150
N200  Z-30
X54  Z-45
Z-65
G00  X150  Z150
T0200
M30
```

6.8.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“机床”→“选择机床 ...”，选择 FANUC 0i 控制系统，平床身前置刀架，如图 6-142 所示。



图 6-142　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击正方向移动按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮。同样，再单击 Z 轴选择按钮，使指示灯变亮，单击，Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

1）在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑对话框，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

2）采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面方法调入程序：

① 单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。

② 单击 MDI 键盘上的，CRT 对话框转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0008”，按软键[EXEC]。

③ 单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 对话框上，如图 6-143 所示。

5. 定义毛坯及装夹

定义毛坯及装夹方法如图 6-144 和图 6-145 所示。

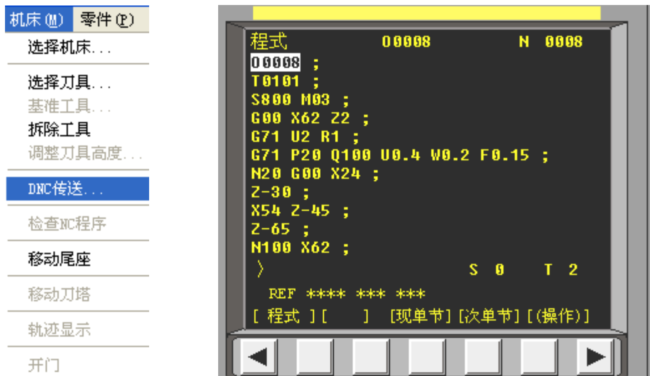


图 6-143 程序调入

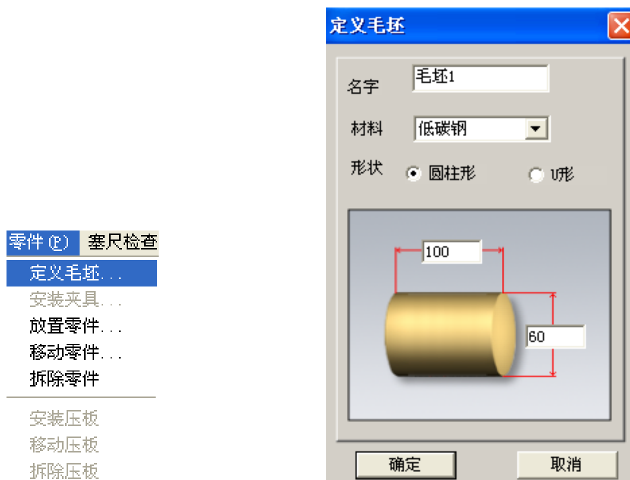


图 6-144 定义毛坯

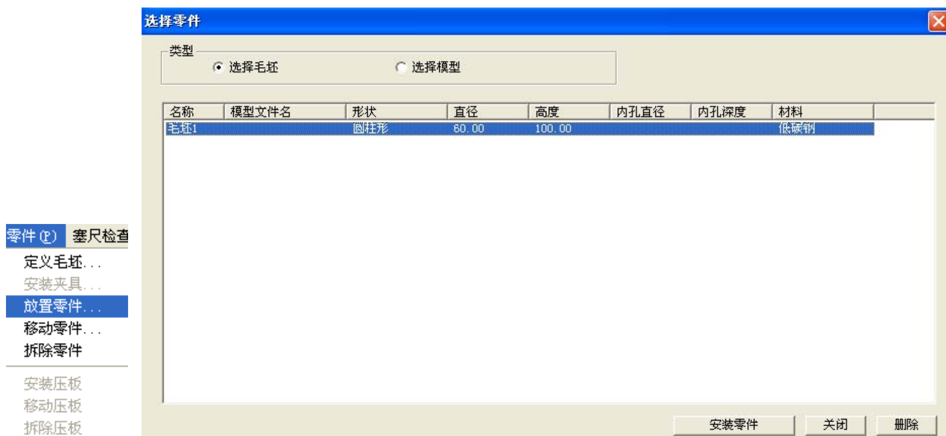


图 6-145　毛坯装夹

6. 刀具的选择及安装

安装车刀的步骤及方法：

1）在刀架图中单击所需的刀位。在这里选择两种刀具：粗车外圆刀具 T1 和精车外圆刀具 T2。

2）选择刀片类型：粗车外圆刀具 T1 选择刀片；精车外圆刀具 T2 选择刀片。

3）选择刀柄类型。

4）确认操作完成，单击“确认”按钮。

如图 6-146 所示，分别设置每把刀具。

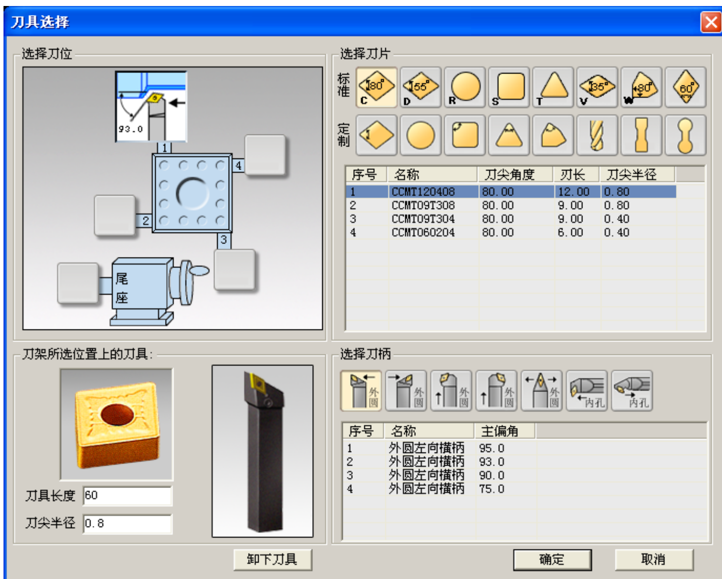


图 6-146　刀具的选择

7. 对刀

在此采用“输入刀具偏移量”方式。移动刀架，起动主轴，靠近工件。

第一步：用 1 号刀具试切工件外圆，单击主轴停止按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量”→“坐标测量...”，得到试切后的工件直径记为 α，同时记录下测量出来的 Z 的坐标值，记为 β，如图 6-147 所示。

刀具退出。单击 MDI 键盘上的键，进入形状补偿参数设定对话框，将光标移到与刀位号相对应的位置，输入“Xα”，按菜单软键[测量]，对应的刀具 X 偏移量自动输入；同时将光标移到相应的位置，输入“Zβ”，按[测量]软键，对应的 Z 刀具偏移量自动输入。

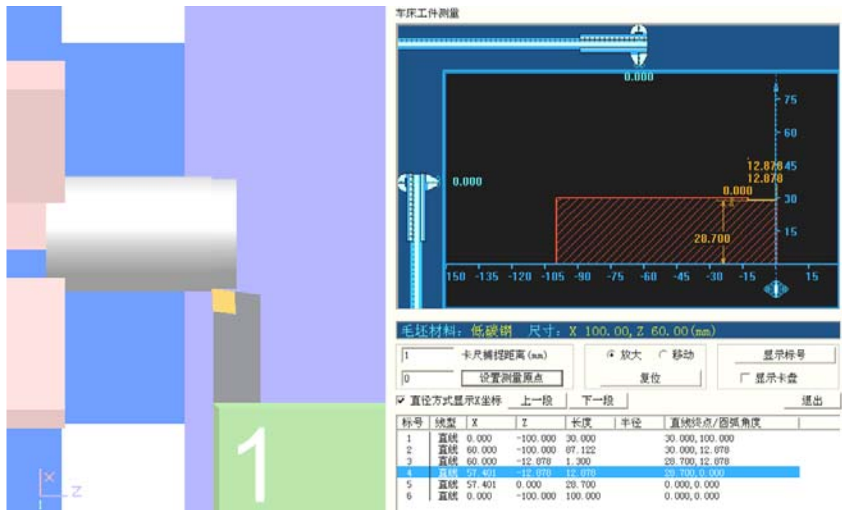


图 6-147　外圆对刀

第二步：选择模式，在程序模式下输入“T0202”，换上 2 号刀具。按照第一步对刀方法，对另外一把刀具进行对刀及设置。完成 2 号刀具对刀后的刀具形状补偿对话框如图 6-148 所示。



图 6-148　刀具形状补偿参数对话框

8. 自动加工

选择自动加工模式，单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 6-149 所示。

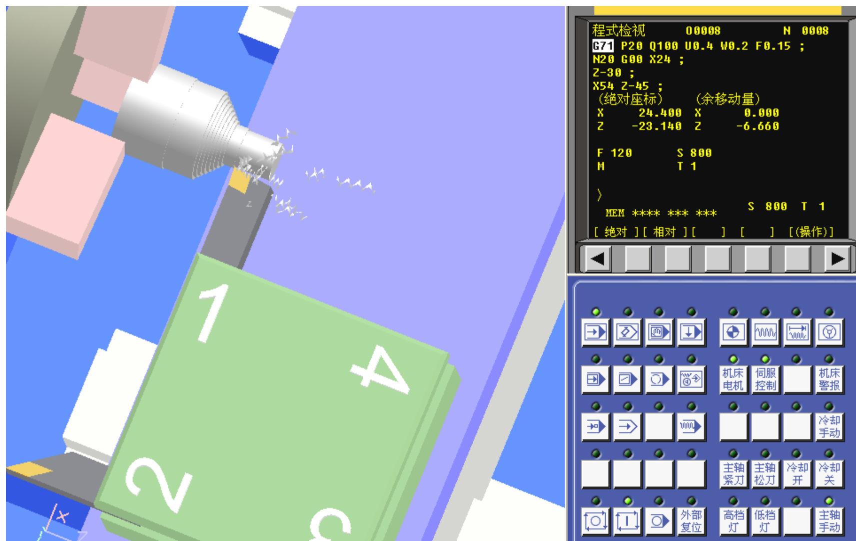


图 6-149　零件自动加工过程

最终零件右端加工结果如图 6-150 所示。

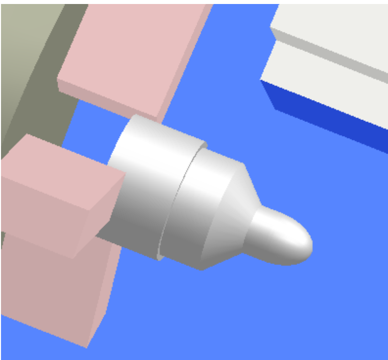


图 6-150　加工零件右端结果

6.8.7　检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测与分析零件尺寸**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测，如图 6-151 所示。

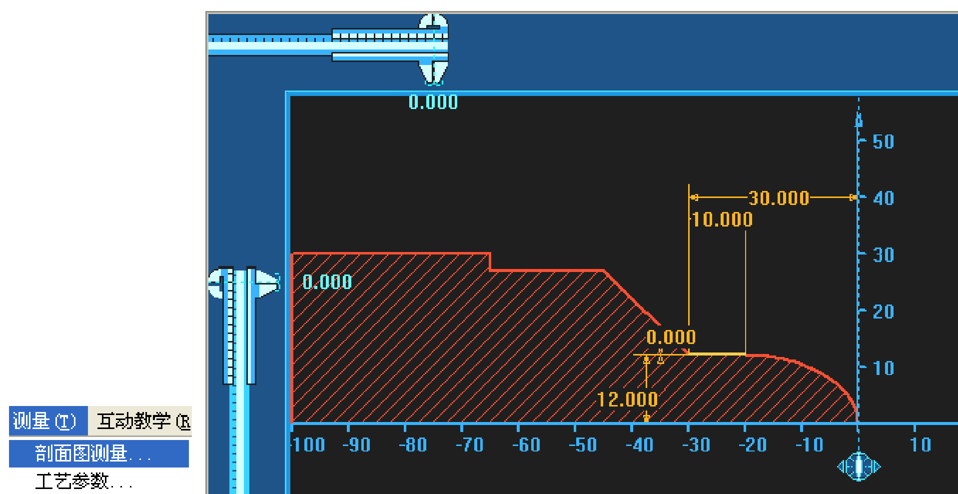


图 6-151 尺寸检查

第 7 章　宇龙 4.2 数控铣床及加工中心仿真实例

宇龙软件具有强大的数控仿真功能，能提供立式铣床、卧式加工中心和立式加工中心仿真环境，使得用户进行铣床及加工中心仿真操作十分方便。本章通过典型实例来介绍宇龙 4.2 数控铣床及加工中心仿真的实际应用，读者学习后可以举一反三。

7.1　零件平面的数控铣削仿真加工

7.1.1　零件图样及信息分析

如图 7-1 所示零件，毛坯是上、下面和四周侧面都加工完毕的 180mm×120mm×21mm 的方坯，材料为 45 钢，切削性能较好。零件加工表面是平面，加工余量较少，表面质量一般。

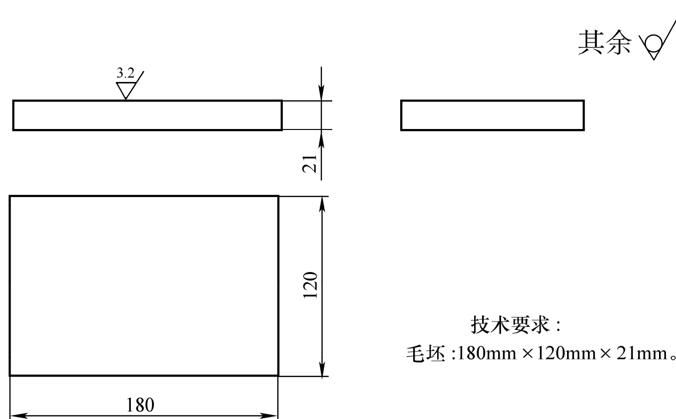


图 7-1　零件图

7.1.2 相关基础知识

1．数控铣床的加工工艺基础

数控铣削加工是数控加工中最常见的加工方法之一，广泛应用于机械设备制造、模具加工等领域。它以普通铣削加工为基础，同时结合数控机床的特点，不但能完成普通铣削加工的全部内容，而且还能完成普通铣削难以进行，甚至无法进行的加工工序。数控铣削加工设备主要有数控铣床和加工中心，可以对零件进行平面轮廓铣削、曲面轮廓铣削加工，还可以进行钻、扩、铰、镗、锪加工及螺纹加工等。

（1）选择并确定数控铣削的加工内容

下列加工内容常采用数控铣削加工：

1）工件上的曲线轮廓表面，特别是由数学表达式给出的非圆曲线和列表曲线等曲线轮廓。

2）给出数学模型的空间曲面或通过测量数据建立的空间曲面。

3）形状复杂、尺寸繁多、划线与检测困难的部位。

4）用普通铣床加工时难以观察、测量和难加工的内、外凹槽。

下列加工内容一般不采用数控铣削加工：

1）需要进行长时间占机人工调整的粗加工内容。

2）毛坯上的加工余量不太充分或不太稳定的部件。

3）简单的粗加工面。

4）必须用细长铣刀加工的部位，一般指狭长深槽或长筋板小转接圆弧部位。

（2）数控铣削加工工艺性分析

1）零件图的完整性和正确性分析。由于加工程序是以准确的坐标点来编制的，因此，各图形几何要素间的相互关系（如相切、相交、垂直、平行和同心等）应明确，各种几何要素的条件要充分。应无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。例如，在实际工作中常常会遇到图样中缺少尺寸，给出的几何元素的相互关系不够明确，使编程计算无法完成；或者虽然给出了几何元素的相互关系，但同时又给出了引起矛盾的相关尺寸，同样给编程计算带来困难。

2）零件图样上的尺寸标注应使编程方便。编程方便与否常常是衡量数控工艺性好坏的一个指标。在实际生产中，零件图样上尺寸标注方法对工艺性影响较大，为此对零件设计图样应提出不同的要求。凡经数控加工的零件，图样上的尺寸数据要符合编程方便的原则。

3）尽量统一零件轮廓内圆弧的有关尺寸。轮廓内圆弧半径 R 常常限制刀具

的直径，若工件的被加工轮廓高度低、转接圆弧半径大，可以采用较大直径的铣刀来加工，且加工其底板面时，进给次数也相应减少，表面加工质量也会好一些，因此工艺比较好；反之，数控铣削工艺性较差。一般来说，当 $R<0.2H$（H 为被加工轮廓面的最大高度）时，可以判定零件上该部位的工艺性不好。

铣削槽底面圆角或底板与肋板相交处的圆角半径 r 越大，铣刀端刃铣削平面的能力越差，效率也较低。当 r 大到一定程度应当避免用球头铣刀加工，因为铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d=D-2r$（D 为铣刀直径），当 D 越大而 r 越小时，铣刀端刃铣削平面的面积越大，加工平面的能力越强，铣削工艺性也越好。当铣削的底面面积较大、底部圆弧 r 也较大时，只能用两把 r 不同的铣刀（一把刀的 r 小些，另一把刀的 r 符合零件图样的要求）分两次进行切削。

在一个零件上，有种凹圆弧半径在数值上的一致性问题，对数控铣削的工艺性显得相当重要。零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型或尺寸，这样可以减少换刀次数。一般来说，即使不能完全统一，也要力求将数值相近的圆弧半径分组靠拢，达到局部统一，以减少铣刀规格与换刀次数，并避免因频繁换刀而增加零件加工面上的接刀阶差，降低表面质量。

4）保证基准统一原则。有些零件需要在铣完一面后再重新安装铣削另一面，由于数控铣削时不能使用通用铣床加工时常用的试切方法来接刀，往往会因为零件的重新安装而接不好刀。这时，最好采用统一基准定位，因此零件上应有合适的孔。

（3）数控铣削工件原点的确定

数控铣削工件原点的选取直接影响零件加工程序的编制和加工质量，因此在选取工件原点时应遵循一定的原则。

1）基准重合原则。

2）方便操作原则。

3）计算简单原则。

（4）加工路线的确定

加工路线是刀具在整个加工过程中相对于工件的运动轨迹，包括了工序的内容，反映工序的顺序，是编写程序的依据之一。在确定加工路线时，主要遵循以下原则：

1）保证零件的加工精度和表面质量。在铣削加工零件轮廓时，因刀具的运动轨迹和方向不同，可分为顺铣或逆铣，其不同的加工路线所得到的零件表面质量不同。究竟采用哪种铣削方式，应视零件的加工要求、工件材料的特点以及机床刀具等具体条件综合考虑。数控机床一般采用滚珠丝杠传动，其运动间隙很小，顺铣优于逆铣，所以在精铣内外轮廓时，为了改善表面质量，应采用顺铣走刀路

线的加工方案。

对于铝镁合金、钛合金和耐热合金等材料，建议采用顺铣加工，这对于降低表面粗糙度值和提高刀具寿命都有利。但如果零件毛坯为黑色金属锻件或铸件，表皮硬而且余量较大，这时粗加工采用逆铣较为有利。

2）寻求最短加工路线，减少刀具空行程，提高加工效率。下面以加工图 7-2a 所示零件上的孔加工路线为例来说明。按照一般习惯，总是先加工均布于同一圆周上的一圈孔后，再加工另外一圈孔，如图 7-2b 的走刀路线，这种走刀路线不是最好的。若改用图 7-2c 的走刀路线加工，可减少空刀时间，节省定位时间，提高了加工效率。三种方案中，图 7-2a 方案最差，图 7-2c 方案最佳。

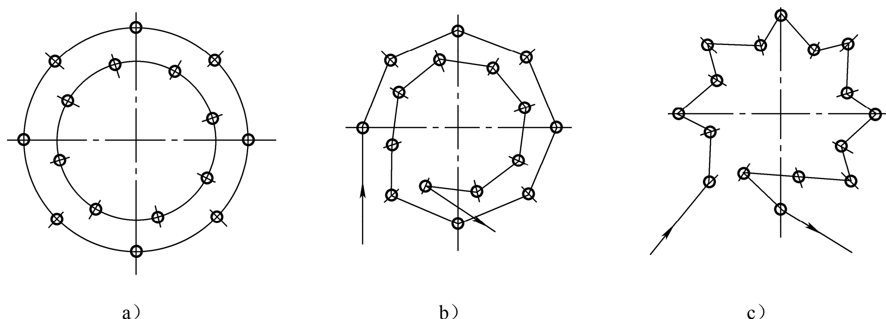
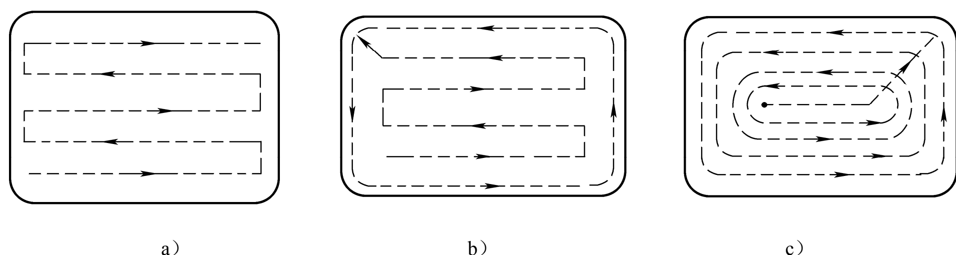


图 7-2　最短走刀路线的设计

a）走刀路线 1　b）走刀路线 2　c）走刀路线 3

3）最终轮廓一次连续走刀完成。为保证工件轮廓表面加工后的表面粗糙度值要求，最终轮廓应安排在最后一次走刀中连续加工出来。比如型腔的切削，通常分两步完成，第一步粗加工切内腔，第二步精加工切轮廓。粗加工尽量采用大直径的刀具，以获得较高的加工效率，但对于形状复杂的二维型腔，若采用大直径的刀具，将产生大量的欠切削区域，不便后续加工，而采用小直径的刀具又会降低加工效率。因此，采用大直径刀具还是小直径刀具视具体情况而定。精加工的刀具则主要取决于内轮廓的最小曲率半径。图 7-3a 为用行切方式加工内腔的走刀路线，这种走刀能切除内腔中的全部余量，不留死角，不伤轮廓。但行切法将在两次走刀的起点和终点间留下残留高度，而达不到要求的表面粗糙度值。采用 7-3b 所示的走刀路线，可先用行切法加工，最后再沿轮廓切削一周，使轮廓表面光整。图 7-3c 是采用环切法加工，表面粗糙度值较小，走刀路线也较行切法长。三种方案中，图 7-3a 方案最差，图 7-3b 方案最佳。



a）　　b）　　c）

图 7-3　铣削内腔的三种走刀路线

a）行切法　b）先行切法加工，最后再沿轮廓切削一周　c）环切法

4）选择切入切出方式。确定加工路线时首先应考虑切入、切出点的位置和切入、切出工件的方式。

切入、切出点的位置应尽量选在不太重要的位置或表面质量要求不高的位置，因为在切入、切出点由于切削力的变化会影响该点加工质量。

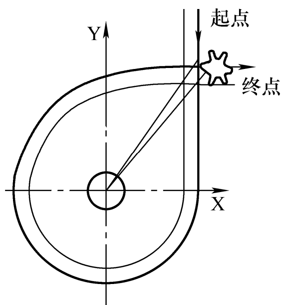


图 7-4　刀具切入和切出时的外延

切入、切出工件的方式有法向切入、切出，切向切入、切出和任意切入、切出三种方式。因法向切入、切出在切入、切出点会留下刀痕，一般不用该法而推荐切向切入、切出和任意切入、切出的方法。对于二维轮廓的铣削，无论是内轮廓或外轮廓，都要求刀具从切向切入、切出，对外轮廓，一般是直线切向切入、切出；而对内轮廓，一般是圆弧切向切入、切出，如图 7-4 所示。

另外，应避免在工件轮廓面上垂直上、下刀而划伤工件表面；尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停（切削力突然变化造成弹性变形），以免留下刀痕。

5）选择使工件在加工后变形小的路线。对横截面积小的细长零件或薄板零件应采用分几次走刀加工到最后尺寸或对称去除余量法安排走刀路线。安排工步时，应先安排对工件刚性破坏较小的工步。此外，确定加工路线时，还要考虑工件的加工余量和机床、刀具的刚度等情况，确定是一次走刀还是多次走刀来完成加工，以及在铣削加工中是采用顺铣还是逆铣等。

（5）顺铣与逆铣

用铣刀圆周上的切削刃来铣削工件的平面，叫做周铣法，它有两种铣削方式：

1）顺铣法：铣刀的旋转切入方向和工件的进给方向相同（顺向），如图 7-5a 所示。

2）逆铣法：铣刀的旋转切入方向和工件的进给方向相反（逆向），如图 7-5b 所示。

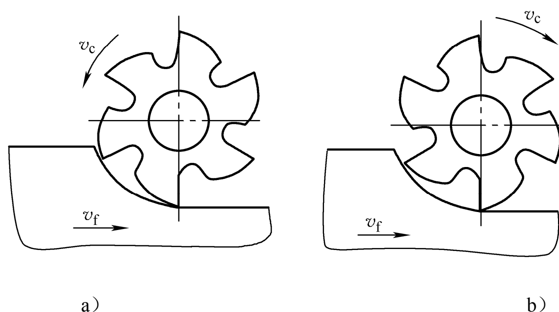


图 7-5　两种铣削方式

a）顺铣法　b）逆铣法

顺铣法切入时的切削厚度由最大逐渐减小到零，因而避免了在已加工表面的冷硬层上滑走过程。实践表明，顺铣法可以提高铣刀寿命 2～3 倍，工件的表面粗糙度值可以降低些，尤其在铣削难加工材料时，效果更为显著。但是，顺铣时每齿所产生的水平分力均与进给方向相同，容易因为机床进给机构的间隙而引起振动和爬行。

逆铣时，每齿所产生的水平分力均与进给方向相反，使铣刀工作台的丝杠与螺母在左侧始终接触，工作台不会发生窜动现象，铣削过程较平稳。但是在逆铣时，刀齿在加工表面上挤压、滑行，切不下切屑，使已加工表面产生严重冷硬层，表面质量较差。

根据以上分析，粗加工或是加工有硬皮的毛坯时，多采用逆铣法。精加工时，尤其是零件材料为铝镁合金、钛合金或耐热合金时，应尽量采用顺铣。

（6）数控铣削刀具的选择

1）铣刀类型的选择

铣刀类型应与被加工工件尺寸和表面形状相适应。加工较大的平面应选择面铣刀；加工凸台、凹槽及平面轮廓应选择立铣刀；加工毛坯表面或粗加工孔可选择镶硬质合金的玉米铣刀；加工曲面应选择球头铣刀，但加工曲面较平坦的部位应选择环形铣刀；加工空间曲面、模具型腔或凸模成形表面等应选择模具铣刀；加工变斜角面应选择鼓形铣刀或锥形铣刀。

2）铣刀的参数选择

数控铣床上使用最多的是可转位面铣刀和立铣刀，因此，这里重点介绍面铣刀和立铣刀参数的选择。

① 面铣刀主要参数的选择。标准可转位面铣刀直径为 16～630mm。粗铣时铣刀直径应小些，因为粗铣切削力较大，小直径铣刀可以减少切削扭矩。精铣时铣刀直径应大些，尽量包容工件整个加工宽度，以提高加工精度和加工效率，减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

根据工件材料、刀具材料及加工性质的不同来确定面铣刀的几何参数。由于铣削时有冲击，故前角数值一般比车刀稍小，尤其是硬质合金面铣刀，前角要更小些。铣削强度和硬度高的材料可选择负前角。铣刀的磨损主要发生在后面上，因此适当加大后角可以减少磨损。常取 α_0=5°～12°，工件材料较软时后角取大，工件材料较硬时后角取小，粗齿铣刀后角取大，细齿铣刀后角取小。铣削时冲击力大，为保护刀尖，硬质合金面铣刀的刃倾角常取 λ_S=−15°～−5°。只有在铣削强度低的材料时，取 λ_S=5°。主偏角 κ_r 在 45°～90°的范围内选取，铣削铸铁时常取 45°，铣削一般钢材时常取 75°，铣削带凸肩的平面或薄壁零件时常取 90°。

② 立铣刀主要参数的选择。根据工件材料和铣刀直径选取前、后角都为正值。为了使端面切削刃有足够的强度，在端面切削刃前面上一般磨有棱边，其宽度为 0.4～1.2mm。前角为 6°。刀具半径 r 应小于零件内轮廓面的最小曲率半径 ρ，一般取 r =（0.8～0.9）ρ；零件的加工高度 H=（1/4～1/6）r，以保证刀具有足够的刚度。加工深槽孔时，选取 L=H+（5～10）mm，L 为刀具切削部分长度，H 为零件高度；加工外形及通槽时，选取 L=H+r_e+（5～10）mm，r_e 为刀尖转角半径。

③ 加工中心刀具的选择。在加工中心上，各种刀具分别安装在刀库上，按程序规定随时进行选刀和换刀工作。因此，必须有一套连接普通刀具的接杆，以便使钻、镗、扩、铰、铣削等工序用的标准刀具，迅速、准确地装到机床主轴或刀库上去。作为编程人员，应了解机床上所用刀杆的结构尺寸以及调整方法、调整范围，以便在编程时确定刀具的径向和轴向尺寸。目前，我国的加工中心采用 TSG 工具系统，其柄部有直柄（三种规格）和锥柄（四种规格）两类，共包括 16 种不同用途的刀具。

（7）装夹方案的确定

1）定位基准的选择。选择定位基准时，应注意减少装夹次数，尽量做到在一次安装中能把零件上所有要加工表面都加工出来。因此，常选择工件上不需数控铣削的平面和孔作定位基准。对薄板件，选择的定位基准应有利于提高工件的刚性，以减小切削变形。定位基准应尽量与设计基准重合，以减少定位误差对尺寸精度的影响。

2）夹具的选择。数控铣床及加工中心上所使用的夹具与普通铣床夹具基本相同，但因数控铣床加工的特殊性，所以对夹具的要求也不完全一样。数控夹具设计及组装时应注意的问题：

① 在数控铣床及加工中心上，要想合理地应用好夹具，首先要对机床的加工特点有比较深刻的理解和掌握，同时还要考虑加工零件的精度、批量大小、制造周期和制造成本。

② 根据数控铣床及加工中心的特点和加工需要，目前常用的夹具类型有专用夹具、组合夹具、可调夹具和成组夹具。一般的选择顺序是单件生产中尽量

用台虎钳、压板螺钉等通用夹具；批量生产时优先考虑组合夹具，其次考虑可调夹具，最后选用专用夹具和成组夹具。在生产批量较大时，可考虑采用多工位夹具和气动、液压夹具。在选择时要综合考虑各种因素，选择最经济、最合理的夹具形式。

③ 为了简化定位与夹紧，夹具的每个定位面相对加工中心的加工原点都应有精确的坐标尺寸。

④ 为了保持零件安装位置与机床坐标系及编程坐标系方向的一致性，夹具应能保证在机床上实现定向安装，同时还要求能协调零件定位面与机床之间保持一定的坐标尺寸关系。

⑤ 能经短时间的拆卸，改成适合新工件的夹具。

⑥ 夹具应具有尽可能少的元件和较高的刚度。

⑦ 夹具要尽量敞开，夹紧元件的空间位置能低则低，夹具不能和刀具轨迹发生干涉。

⑧ 保证在主轴的行程范围内使工件的加工内容全部完成。

⑨ 对于有交互工作台的加工中心，由于工作台的移动、上托、下托和旋转等动作，夹具设计必须防止夹具和机床的空间干涉。

⑩ 尽量在一次装夹中完成所有的加工内容。当非要更换夹紧点时，要特别注意不能因更换夹紧点而破坏定位精度，必要时在工艺文件中说明。

⑪ 夹具底面应与工作台的接触，夹具的底面平面度必须保证在 0.01～0.02mm 以内，表面粗糙度值 *Ra* 不大于 3.2μm。

（8）切削用量的选择

切削用量包括切削速度、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量，如图 7-6 所示。

从刀具寿命出发，切削用量的选择方法是：先选取背吃刀量或侧吃刀量，其次确定进给速度，最后确定切削速度。

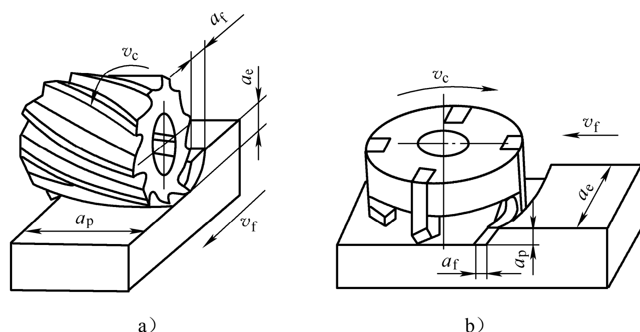


图 7-6　铣削切削用量

a）圆周铣　b）端铣

1）背吃刀量（端铣）或侧吃刀量（圆周铣）

背吃刀量 a_p 为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm。端铣时，a_p 为切削层深度；而圆周铣时，a_p 为被加工表面的宽度。

侧吃刀量 a_e 为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm。端铣时，a_e 为被加工表面宽度；而圆周铣削时，a_e 为切削层深度。

背吃刀量或侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量的要求决定。

① 在工件表面粗糙度值要求为 Ra12.5～25μm 时，如果圆周铣削的加工余量小于 5mm，端铣的加工余量小于 6mm，粗铣一次进给就可以达到要求。但在余量较大、工艺系统刚性较差或机床动力不足时，可分两次进给完成。

② 在工件表面粗糙度值要求为 Ra3.2～12.5μm 时，可分粗铣和半精铣两步进行。粗铣时背吃刀量或侧吃刀量选取同前。粗铣后留 0.5～1.0mm 余量，在半精铣时切除。

③ 在工件表面粗糙度值要求为 Ra0.8～3.2μm 时，可分粗铣、半精铣、精铣三步进行。半精铣时，背吃刀量或侧吃刀量取 1.5～2.0mm；精铣时，圆周铣侧吃刀量取 0.3～0.5mm，面铣刀背吃刀量取 0.5～1.0mm。

2）进给速度

进给速度 v_f 是单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移，单位为 mm/min。它与铣刀转速 n、铣刀齿数 z 及每齿进给量 f_z（单位为 mm/z）的关系为

$$v_f = f_z z n$$

每齿进给量 f_z 的选取主要取决于工件材料的力学性能、刀具材料、工件表面粗糙度等因素。工件材料的强度和硬度越高，f_z 越小；反之则越大。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀。工件表面质量要求越高，f_z 就越小。每齿进给量的确定可参考表 7-1 选取。工件刚性差或刀具强度低时，应取小值。

3）切削速度

铣削的切削速度计算公式为

$$v_c = \frac{C_v d^q}{T^m f_z^{y_v} a_p^{x_v} a_e^{p_v} z^{x_v} 60^{1-m}} K_V$$

由公式可知铣削的切削速度与刀具寿命 T、每齿进给量 f_z、背吃刀量 a_p、侧吃刀量 a_e 及铣刀齿数 z 成反比，而与铣刀直径 d 成正比。其原因为 f_z、a_p、a_e 和 z 增大时，切削刃负荷增加，同时由于工作齿数增多使切削热增加，刀具磨损加快，从而限制了切削速度的提高。刀具寿命的提高使允许使用的切削速度降低。但是加大铣刀直径 d 则可改善散热条件，因而可提高切削速度。

公式中的系数及指数是经过试验求出的，可参考有关切削用量手册选用。

此外，铣削的切削速度也可简单地参考表 7-2 选取。

表 7-1 铣刀每齿进给量 f_z

工件材料	f_z /（mm/z）			
	粗铣		精铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10～0.15	0.10～0.25	0.02～0.05	0.10～0.15
铸铁	0.12～0.20	0.15～0.30		

表 7-2 铣削时的切削速度

工件材料	硬度 HBW	切削速度 v_c /（m/min）	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	<225	18～42	66～150
	225～325	12～36	54～120
	325～425	6～21	36～75
铸铁	<190	21～36	66～150
	190～260	9～18	45～90
	160～320	4.5～10	21～30

2. 指令介绍

（1）参考点 G27、G28、G29、G30

1）返回参考点检测 G27。在程序中使用该指令，用于检查机床是否已准确返回参考点。

格式：G90(G91) G27 X__ Y__ Z__

其中：

G90——绝对坐标编程方式，其后的 X、Y、Z 值指机床参考点在工件坐标系中的绝对坐标。

G91——增量坐标编程方式，其后的 X、Y、Z 值指机床参考点相对刀具当前位置的增量坐标。

该指令执行时，刀具以快速移动定位，到达机床参考点后，操作面板上相应的返回参考点指示灯发亮，如果到达的位置不是参考点位置，则指示灯不亮，并且显示报警。通常，在使用 G27 指令之前，应清除刀具偏置。

2）返回参考点 G28。在程序中使用该指令，可使刀具经由一个中间点（或直接）返回到参考点，一般用于加工中心的自动换刀。

格式：G90(G91) G28 X__ Y__ Z__

其中：

X、Y、Z——返回参考点时所经过的中间点的坐标。

该指令执行时，刀具以快速移动定位，到达机床参考点后，操作面板上的返回参考点指示灯发亮。为了安全，在执行该指令之前，应该清除刀具半径补偿和刀具长度补偿。

如图 7-7 所示，刀具运动轨迹为 $A\to B\to R$，编写程序如下：

G90 G28 X180 Y160 绝对坐标编程

或：G91　G28　X100　Y100　　增量坐标编程

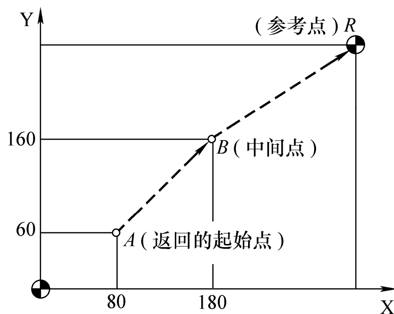


图 7-7　G28 指令例图

3）从参考点返回 G29。在程序中使用该指令，可使刀具经过中间点快速移动到指定目标点，一般在 G28 或 G30 指令后使用，这样经过的中间点坐标就是由 G28 或 G30 指令所指定的中间点。

格式：G29　X__　Y__　Z__

其中：

X、Y、Z——从参考点返回后目标点的坐标。

如图 7-8 所示，刀具运动轨迹为 *R*→*B*→*C*，编写程序如下：

⋮

G90　G28　X180　Y160　　经 *B* 点回参考点 *R*

M06　T05　　换 5 号刀

G29　X240　Y90　　经中间点 *B* 快速定位至目标点 *C*

⋮

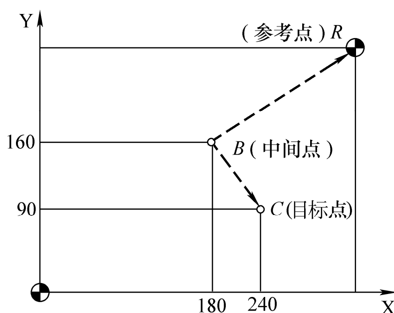


图 7-8　G29 指令例图

4）返回第 2、3、4 参考点 G30。在程序中使用该指令，可使刀具经由一个中间点返回到第 2、3、4 参考点。与 G28 的差别在于，G28 只是返回第 1 参考点。

格式：G30　P1　X__　Y__　Z__

G30　P2　X__　Y__　Z__

G30　P3　X__　Y__　Z__

其中：

P2、P3、P4——选择第 2、第 3、第 4 参考点；

X、Y、Z——返回参考点途径的中间点坐标。

通常在自动换刀时，换刀点位置与第 1 参考点不重合，才使用 G30 指令。

（2）用 G54～G59 来预置设定工件坐标系

在机床控制系统中，还可用 G54～G59 指令在 6 个预定的工件坐标系中选择当前工件坐标系。当工件尺寸很多且相对具有多个不同的标注基准时，可将其中几个基准点在机床坐标系中的坐标值，通过 MDI 方式预先输入到系统中，作为 G54～G59 的坐标原点，系统将自动记　这些点。一旦程序执行到 G54～G59 指令之一时，则该工件坐标系原点即为当前程序原点，后续程序段中的绝对坐标均为相对此程序原点的值。G54～G59 设定　面如图 7-9 所示。

图 7-9　G54～G59 设定　面

如图 7-10 所示从 *A B C D* 可编程如下：

N10　G54　G00　G90　X30.0　Y40.0	快速移到 G54 中的 *A* 点
N15　G59	将 G59 置为当前工件坐标系
N20　G00　X30.0　Y30.0	移到 G59 中的 *B* 点
N25　G52　X45.0　Y15.0	在当前工件坐标系 G59 中，建立局部坐标系 G52
N30　G00　G90　X35.0　Y20.0	移到 G52 中的 *C* 点
N35　G53　X35.0　Y35.0	移到 G53（机械坐标系）中的 *D* 点

图 7-10　工件坐标系设定

（3）快速定位和直线插补指令 G00/G01

格式：

G90 (G91)　G00　X__　Y__　Z__

G90 (G91)　G01　X__　Y__　Z__　F__

（4）暂停延时 G04

格式：G04　P 或 G04　X（U）__

执行此指令时，加工进给将暂停 P 后所设定的时间，然后自动开始执行下一程序段。

机床在执行程序时，一般并不等到上一程序段减速到达终点后才开始执行下一个程序段，因此，可能导致刀具在　角处的切削不完整。如果　角精度要求很严，其轨迹必须是直角时，可在　角处前后两程序段之间使用暂停指令。暂停动作是等到前一程序段的进给速度达到零之后才开始的。暂停时间的长短可以通过地址 X（U）或 P 来指定。

其中，P 后面的数字为整数，单位是 ms；X（U）后面的数字为带小数点的数，单位为 s。

例如：　停留 1.5s 时，程序段为 G04　P1500。

（5）进给速度设定 G94、G95

进给运动控制有两种方式：每分进给（G94）和每转进给（G95），一般在数控铣床上采用每分进给方式。

1）每分进给 G94。

格式：G94　F__

其中，F 后面的数值表示每分钟刀具移动的距离，单位是 mm/min。每分进给控制也被称为用进给速度控制刀具移动。

G94 是机床电源接通后的默认进给方式，是模态代码，直到指定 G95（每转进给）方式之前，它将一直保持有效。

2）每转进给 G95。

格式：G95　F__

其中，F 后面的数值表示主轴每转刀具的进给量，单位是 mm/r。每转进给控制也被称为进给量控制，是模态代码。

这两种进给方式可以相互转化，由以下公式计算：

$$v_f = fn \qquad (f = f_z z)$$

其中：

v_f——刀具进给速度（每分进给），单位是 mm/min；

f——刀具每转进给量；

n——刀具的转速，单位 r/min；

f_z——铣刀的每齿进给量，单位 mm/z；

z——铣刀的切削刃数。

例：用可转位面铣刀铣削 素钢表面，已知刀具规格为 ϕ80，切削刃数 5 齿，查 工艺手册，选取切削速度为 160m/min，每齿进给量为 0.10 mm/z，求加工时的主轴转速 n 和刀具进给速度 v_f。

主轴转速计算：

$$n=\frac{1000v_c}{\pi D}=[1000\times160/（3.14\times80）]\text{r/min}\approx635\ \text{r/min}$$

刀具进给速度计算：

$$f=f_z z=0.10\times5\text{mm/r}=0.5\ \text{mm/r}$$

$$v_f=fn=0.5\times635\text{mm/min}\approx310\ \text{mm/min}$$

（6）刀具控制 M06

数控加工中心根据加工的需要，可以在刀库中存放多把刀具，当执行到换刀程序时，就实施换刀动作更换刀具，这个过程包括选刀和换刀两个部分，涉及的编程指令是刀具功能指令（T 代码）和换刀指令（M06）。当需要执行换刀时，刀库首先根据 T 代码自动将要用的刀具移动到换刀位置，完成选刀过程。选刀方式常有顺序选刀方式和任选方式两种。当程序执行到 M06 指令时，开始自动换刀，把主轴上当前的刀具取下，将选好的刀具安装在主轴上。换刀方式通常有机械手换刀和无机械手换刀两种。

执行换刀动作必须满足主轴回到换刀点并执行准停，一般的换刀点，设在 Z 向参考点。

数控机床的结构不同，其换刀程序和动作会有所不同，对于无换刀机械手的加工中心，换刀过程是先卸下主轴上的刀具放回刀库，然后才将刀库中要更换的刀具换到主轴上，其换刀指令如下：

```
（G91  G28  Z0）      回机床参考点
M06  T04              将 4 号刀装到主轴上
⋮
（G91  G28  Z0）      回机床参考点
M06  T02              先卸下原来的 4 号刀，然后将 2 号刀装到主轴上
⋮
```

数控系统执行到第二次换刀指令时，主轴先上升至换刀位置并准停，把主轴上的 4 号刀装回刀库，然后刀库再旋转，将 2 号刀装到主轴上。

对于有换刀机械手的加工中心，刀库中的刀具和主轴上的刀具是同时交

换的，并且选刀动作要安排在换刀动作之前执行。注意下面程序中两次换刀的区别：

```
G91  G28  Z0;              回机床参考点
T01;                       刀库中的 1 号刀转至换刀位置
M06;                       将 1 号刀装到主轴上
⋮
G01  X-20  F200  T02       加工过程，同时刀库将 2 号刀转至换刀位置
⋮
G91  G28  Z0               回机床参考点
M06  T07                   2 号刀装到主轴上，然后将 7 号刀转至换刀位置
⋮
```

第二次换刀时，2 号刀的选刀动作在之前已经完成，不占用机动时间，效率更高。

（7）刀具长度补偿 G43、G44、G49

在数控铣削加工工序中，可能用到各种不同的刀具，如钻头、立铣刀、面铣刀等，其长度是各不相同的，也就是其刀位点到安装基准位置的尺寸不相同。另外，由于刀具的磨损或更换新刀具等原因，也会引起刀具长度发生变化。在这种情况下，就应该使用刀具长度补偿指令，使每把刀具的刀位点都能准确地移动到程序所指定的位置。

刀具长度补偿一般是沿 Z 轴方向的长度补偿，指令种类有正向刀具长度补偿（G43）、负向刀具长度补偿（G44）和刀具长度补偿取消（G49）。机床通电后，为取消长度补偿（G49）状态，G43、G44 均为模态指令。

1）建立刀具长度补偿指令格式：

G43　Z__　H__　　正向长度补偿

G44　Z__　H__　　负向长度补偿

其中，Z 后面的数值为刀具 Z 轴移动坐标值；H 后面的数值（两位数字）为刀具长度补偿号。

2）取消刀具长度补偿指令格式：

G49 或 H00

其中：

H00——长度补偿值为 0。

在执行长度补偿时，G43 使刀具 Z 向实际移动坐标值为程序指定的坐标值加上补偿值，G44 则是从指定坐标值中减去补偿值。

3）刀具长度补偿的方式有以下两种：

① 用刀具实际长度作为补偿值。

每把刀在使用前通过对刀仪测量长度，并记录在其数据　案中，使用时，将

刀具长度值作为补偿值设置到刀偏存储器中。这样，在加工不同工件时，每次输入的都是同一个补偿值。

② 利用机床刀具长度测量功能设置补偿值。以某一把刀作为基准刀，通过移动基准刀具和将要测量的刀具，使其接触到机床上的同一个指定点，用刀具长度测量功能将补偿值存储到补偿存储器中。

（8）常见的 M 代码

常见的 M 代码功能见表 7-3。

表 7-3　常见的 M 代码功能

代　码	功　能	代　码	功　能
M00	程序停止（暂时停止）	M06	自动换刀
M01	程序选择停止	M08	切削液开启
M02	程序结束	M09	切削液关闭
M03	主轴正转	M30	程序结束，返回开头
M04	主轴反转	M98	调用子程序
M05	主轴停止	M99	子程序结束

7.1.3　加工方法

1）图 7-1 所示零件毛坯是方坯，因此可以采用通用的平口钳夹具装夹。

2）Z 向加工余量较少，表面质量一般，因此采用一次下刀。

3）考虑到加工效果及增强计算，因此选择 Φ50 铣刀，因此 XY 向需要 3 次走刀。

4）切削速度采用 S800、F100。

7.1.4　走刀路线

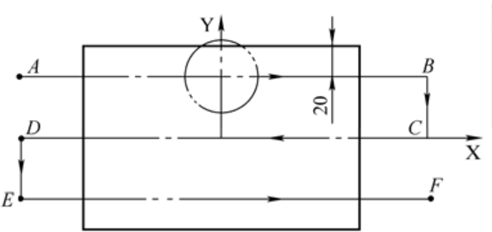


图 7-11　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件采用 Φ50 的铣刀，深度一次下刀，走刀路线如图 7-11 所示，从 *A* 点出发，采用往返式走刀路线，3 次走刀。

根据走刀路线，确定出各点坐标为 *A*（−120，40），*B*（120，40），*C*（120，0），*D*（−120，0），*E*（−120，−40），*F*（120，−40）。

7.1.5　零件程序

程序如下：

```
O0001
G54   G21   G90   G49   G40
G91   G28   Z0
T1   M6
S800   M03
G90   G43   G00   Z20   H01
G00   X-120   Y40
G00   Z-1
G01   X120   F100
G00   Y0
G01   X-120
G00   Y-40
G01   X120
G49
G91   G28   Z0
M30
```

7.1.6　仿真加工

1．选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床…”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-12 所示。

2．开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。



图 7-12　选择机床

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴，Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0001”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-13 所示。



图 7-13　程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-14 所示，定义好毛坯。

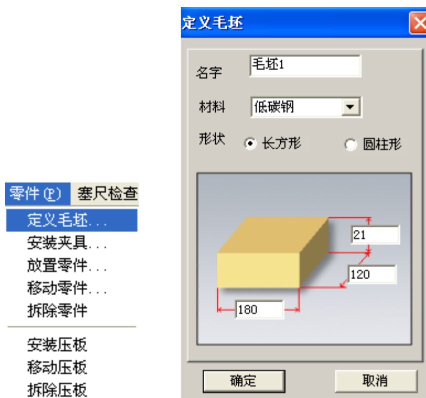


图 7-14　定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具...”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-15 所示。

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件...”命令，或者在工具条上选择图标，如图 7-16 所示。选择已定义好的毛坯，单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

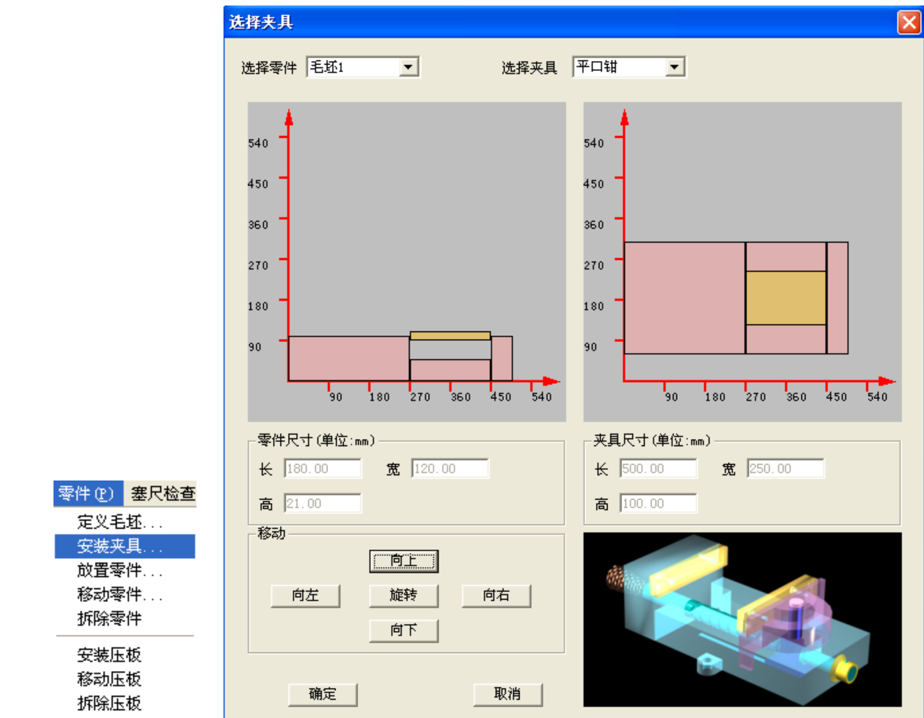


图 7-15　安装夹具

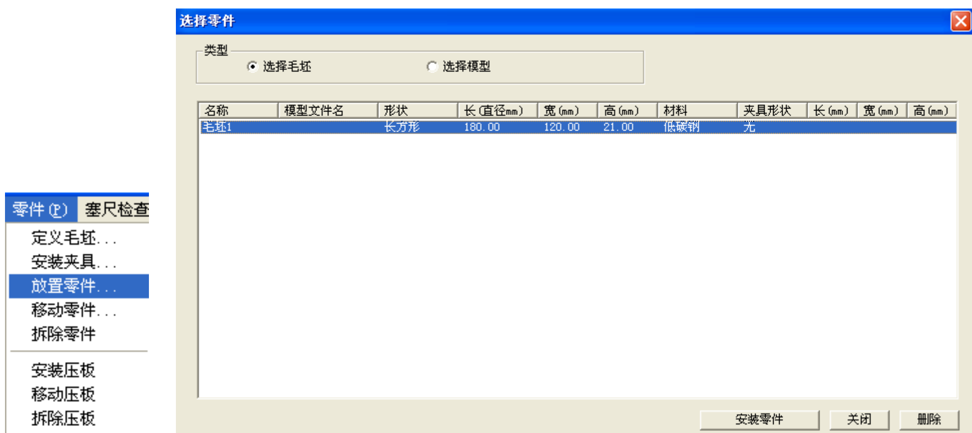


图 7-16　安装零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具...”命令，选出直径是 50.00 的平底刀具，

如图 7-17 所示。

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具…”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。

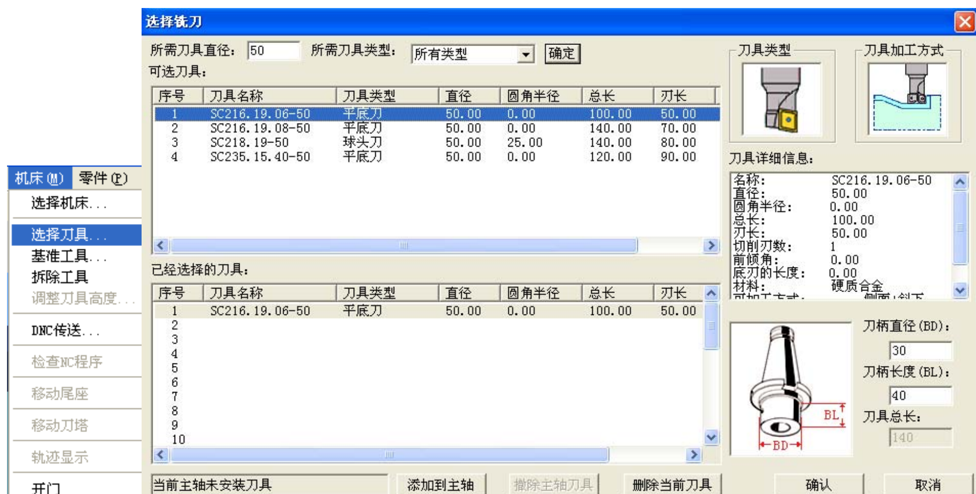


图 7-17　刀具定义及安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28-Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好。装好后的刀具如图 7-18 所示。



图 7-18　刀具安装

7. **对刀**

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具…”命令，如图 7-19 所示。

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入“手动”方式。

2）单击+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移动到适当的位置。

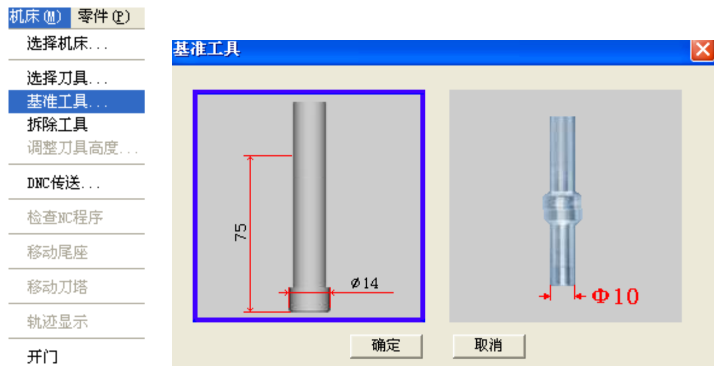


图 7-19 刀具定义及安装

3）可以采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-20 所示。

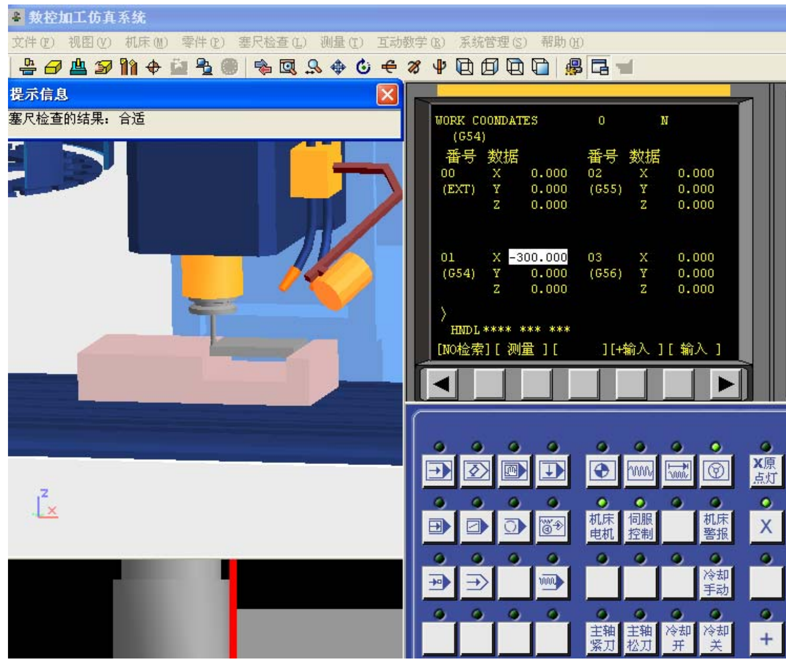


图 7-20 X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中

间为工件原点，G54 中的 X=–398+7+1（塞尺宽度）+90=–300，然后进入OFFSET SETTING界面，在 G54 的 X 中输入“–300.000”，如图 7–21 所示。



图 7–21　X 坐标设置

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y，如图 7–21 所示。

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”，将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击+Z按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具”，拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

1）铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。

2）装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移到适当的位置。

3）用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z–472，真实的 Z 坐标值应该为 Z–472 减去塞尺厚度 1，即为 Z–473。将–473 输入 01 号刀具长度补偿，如图 7–22 所示。

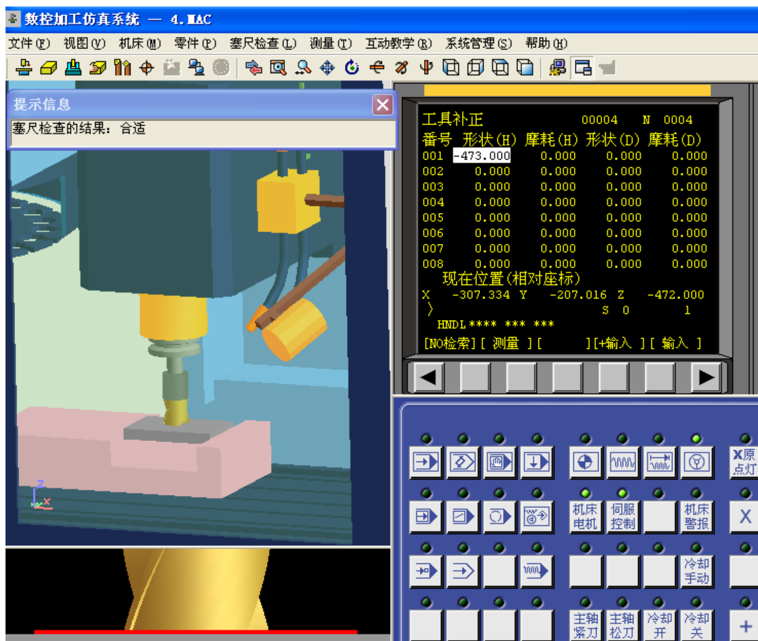


图 7–22　Z 向对刀及设置

8．自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-23 所示。

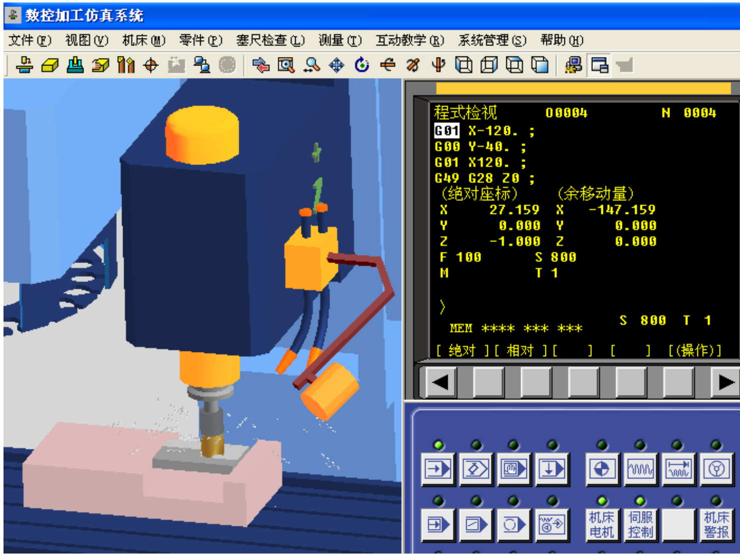


图 7-23　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-24 所示。

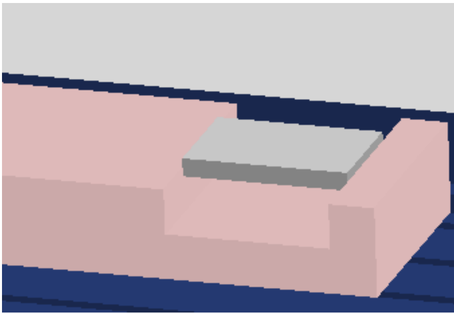


图 7-24　零件加工结果

7.1.7　检测与分析

1．检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测与分析零件尺寸**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-25 所示。

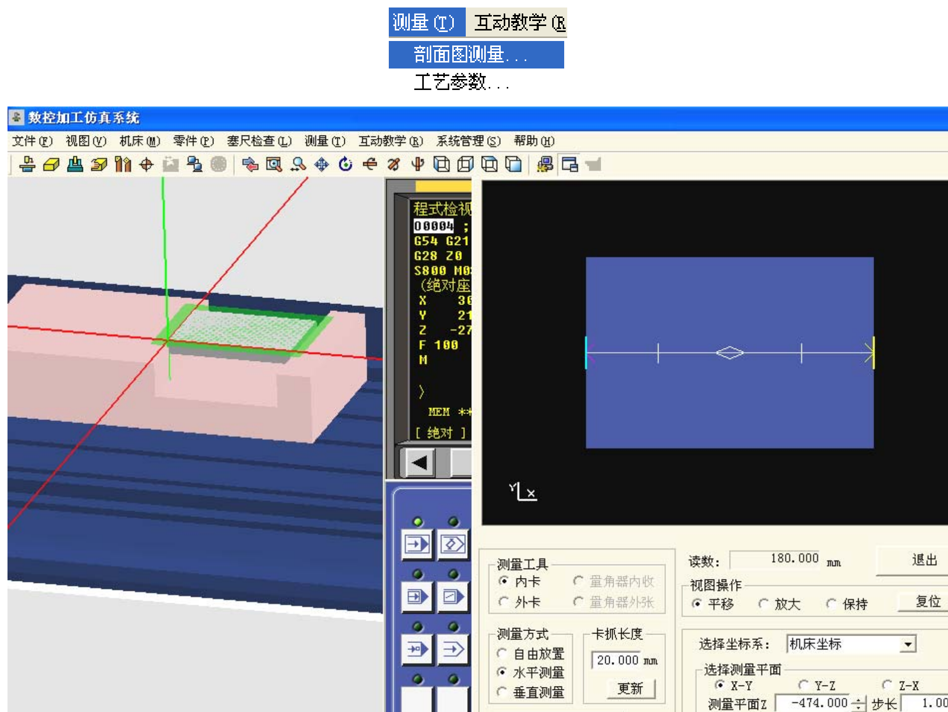


图 7-25　尺寸检查

7.2　零件轮廓的数控铣削仿真加工

7.2.1　零件图样及信息分析

如图 7-26 所示轮廓加工类零件，毛坯是上、下面和四周侧面都加工完毕的 48mm×48mm×46mm 的方坯，材料为 45 钢，切削性能较好。零件加工表面是由直线、圆弧构成的轮廓平面，加工余量较多且不均匀，零件轮廓尺寸公差较高，

表面质量要求较高，需要经过粗、精加工才能达到零件的加工要求。

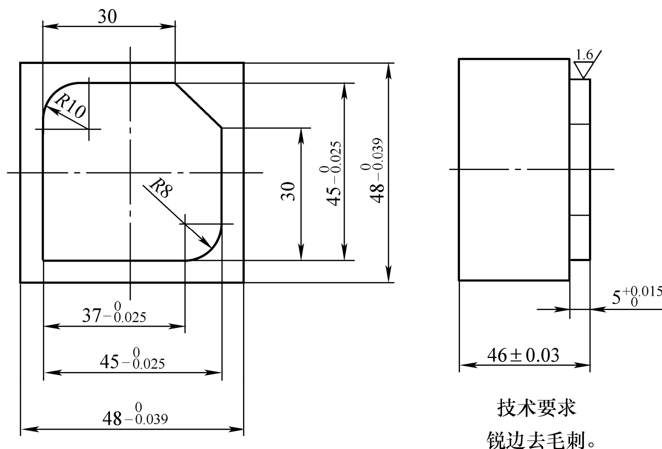


图 7-26　零件图

7.2.2　相关基础知识

1. 刀具半径补偿原理

数控系统程序控制的是让刀具刀位点行走在程序轨迹上。铣刀的刀位点通常是定在刀具中心上，若编程时直接按图样上的零件轮廓线进行，又不考虑刀具半径补偿，则将使刀具中心（刀位点）行走轨迹和图样上的零件轮廓轨迹重合，这样由刀具圆周刃口所切削出来的实际轮廓尺寸，就必然大于或小于图样上的零件轮廓尺寸一个刀具半径值，因而造成过切或少切现象。

为了确保铣削加工出的轮廓符合要求，必须在图样轮廓要求的基础上，整个周边向外或向内预先偏离一个刀具半径值，作出一个刀具刀位点的行走轨迹，求出新的节点坐标，然后按这个新的轨迹进行编程，这就是人工预刀补编程。这种人工预先按所用刀具半径大小，求算实际刀具刀位点轨迹的编程方法虽然能够得到要求的轮廓，但很难直接按图样提供的尺寸进行编程，计算繁杂，计算量大，并且必须预先确定刀具直径大小，当更换刀具或刀具磨损后又需重新编程，使用起来极不方便。

现在很多数控机床的控制系统自身都提供自动进行刀具半径补偿的功能，只需直接按零件图样上的轮廓轨迹进行编程，在整个程序中只在少量的地方加上几个刀补开始及刀补解除的代码指令。这样无论刀具半径大小如何变换，不管刀位点定在何处，加工时都只需使用同一个程序或稍作修改，按照实际刀具使用情况将当前刀具半径值输入到刀具数据库中即可。在加工运行时，控制系统将根据程

序中的刀补指令自动进行相应的刀具偏置，确保刀具刃口切削出符合要求的轮廓，如图 7-27 所示。

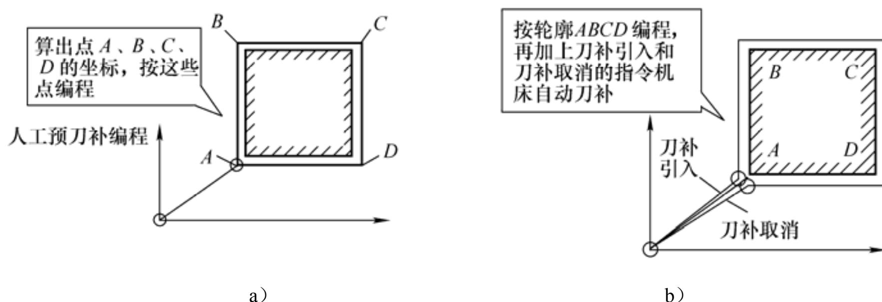


图 7-27　轮廓加工

a）人工计算坐标点　b）系统自动补偿

利用这种机床自动刀补的方法，可大大简化计算及编程工作，并且还可以利用同一个程序、同一把刀具，通过设置不同大小的刀具补偿半径值而逐步减少切削余量的方法来达到粗、精加工的目的，如图 7-28 所示。

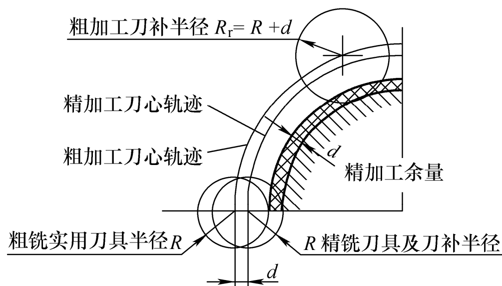


图 7-28　利用修改刀具半径补偿实现零件粗、精加工

FANUC 系统设置有刀具偏置寄存器，专供存放刀具补偿量之用。进行数控编程时，只需调用所需刀具补偿参数（刀具半径、刀具长度）所对应的寄存器编号即可，加工时，CNC 系统将该编号对应的刀具偏置寄存器中存放的刀具半径或刀具长度补偿值取出，对刀具中心轨迹进行补偿计算，生成实际的刀具中心运动轨迹。

2. 刀具半径补偿（G40、G41、G42）指令介绍

刀具半径补偿指令格式：

G00/G01　G41/G42　X　Y　D　　建立刀具半径补偿

……

……

G00/G01 G40 X Y 销刀具半径补偿

根据 ISO 标准规定，沿着刀具的运动方向看，若刀具位于零件轮廓左边时称为刀具半径左补偿，用 G41 表示；若刀具位于零件轮廓右边时称为刀具半径右补偿，用 G42 表示，如图 7-29 所示。

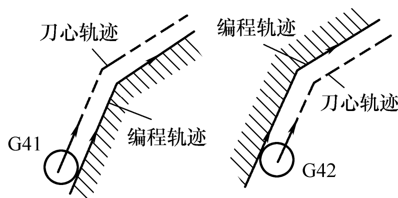


图 7-29 刀具半径补偿判断

编程时，使用非零的 D##代码选择正确的刀具偏置寄存器号，其偏置量（即补偿值）的大小通过 CRT/MDI 操作面板在对应的偏置寄存器号中设定，可设定值范围为 0～±999.999mm。当不需要进行刀具半径补偿时，则用 G40 取消刀具半径补偿。

刀具半径补偿在整个程序中的应用共分刀补建立、刀补进行中和刀补解除三个过程。刀补建立是一个从无到有的渐变过程，从线性轨迹段的起点处开始，刀具中心渐渐往预定的方向偏移，到达该线性轨迹段的终点处时，刀具中心相对于终点产生刀具半径大小的法向偏移。

使用刀具半径补偿的注意事项：

1）机床通电后，为取消半径补偿状态。

2）G41、G42、G40 不能和 G02、G03 一起使用，只能与 G00 或 G01 一起使用，且刀具必须移动。

3）在程序中用 G42 指令建立右刀补，铣削时对工件将产生逆铣效果，故常用于粗铣；用 G41 指令建立左刀补，铣削时对工件将产生顺铣效果，故常用于精铣。

4）一般情况下，刀具半径补偿量应为正值，如果补偿值为负，则 G41 和 G42 正好相互替换。通常在模具加工中利用这一特点，可用同一程序加工同一公称尺寸的内外两个型面。

5）在建立刀具半径补偿以后，不能出现连续两个程序段无选择补偿坐标平面的移动指令，否则数控系统因无法正确计算程序中刀具轨迹交点坐标，可能产生过切现象。

6）在补偿状态下，铣刀的直线移动量及铣削内侧圆弧的半径值要大于或等于刀具半径，否则补偿时会产生干涉，系统在执行相应程序段时将会产生报警，

停止执行。

7）刀具半径补偿功能为续效代码，在补偿状态时，若加入 G28、G29 指令，当这些指令被执行时，补偿状态将暂时被取消，但是控制系统仍记　此补偿状态，因此在执行下一程序段时，又自动恢复补偿状态。

8）若程序中建立了刀具半径补偿，在加工完成后必须用 G40 指令将补偿状态取消，使铣刀的中心点回复到实际的坐标点上。　即执行 G40 指令时，系统会将向左或向右的补偿值往相反的方向释放，这时铣刀会移动铣刀半径值，因此使用 G40 指令时最好是铣刀已远离工件。

7.2.3　加工方法

对于零件的轮廓加工一般存在以下两种情况：

1）采用粗、精铣两刀完成轮廓加工，深度方向一次下刀完成。

2）采用粗、精铣两刀完成轮廓加工，深度方向分层铣削，分多次完成。

轮廓加工粗、精铣可以通过修改刀具补偿的　法实现，不管粗、精铣轮廓，还是分层铣削，编程时都采用零件本身尺寸。为了不使程序较长，可以采用子程序格式，也便于调试零件加工程序。

7.2.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的粗加工走刀路线如图 7-30 所示，从 *S* 点出发，粗加工采用 Φ15 立铣刀，精加工轮廓采用 Φ8 立铣刀，精铣余量为 0.5mm。

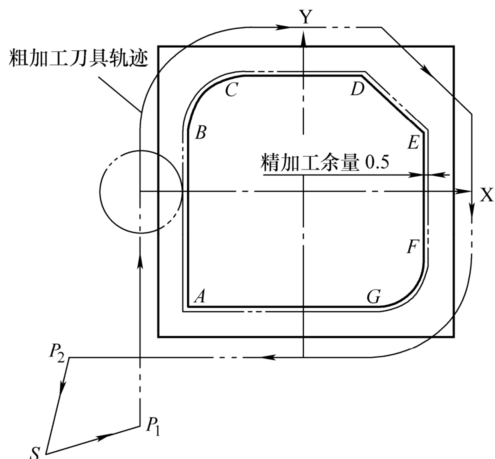


图 7-30　走刀路线

根据走刀路线，确定出各点坐标：*A*（–22.5，–22.5），*B*（–22.5，12.5），*C*（–12.5，22.5），*D*（7.5，22.5），*E*（22.5，7.5），*F*（22.5，–14.5），*G*（14.5，–22.5）。

7.2.5 零件程序

程序如下：

```
O0002
G54   G21   G90   G49   G40
G91   G28   Z0
T1   M6                                  刀具直径为 Φ15
S800   M03
G90   G43   G00   Z20   H01
G00   Z-5
G00   X-60   Y-60
G41   G00   X-22.5   Y-35   D01          D01=8
G01   Y12.5   F100
G02   X-12.5   Y22.5   R10
G01   X7.5
G01   X22.5   Y7.5
G01   Y-14.5
G02   X14.5   Y-22.5   R8
G01   X-35
G40   G00   X-60   Y-60
G91   G28   Z0
M05
T2   M06                                 刀具直径为 Φ8
S1200   M03
G90   G43   G00   Z20   H02
G00   Z-5
G00   X-60   Y-60
G41   G00   X-22.5   Y-35   D02          D02=4
G01   Y12.5   F60
G02   X-12.5   Y22.5   R10
G01   X7.5
G01   X22.5   Y7.5
G01   Y-14.5
G02   X14.5   Y-22.5   R8
G01   X-35
G40   G00   X-60   Y-60
```

G49　G00　Z0
M30

7.2.6　仿真加工

1．选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床…”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-31 所示。



图 7-31　选择机床

2．开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3．回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键 [操作]，在出现的下级子菜单中按软键▶，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0002”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-32 所示。

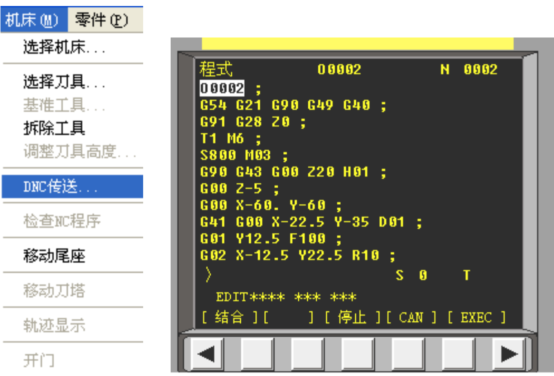


图 7-32 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯…”，或者在工具条上选择，如图 7-33 所示，定义好毛坯。

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具…”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-34 所示。



图 7-33 定义毛坯

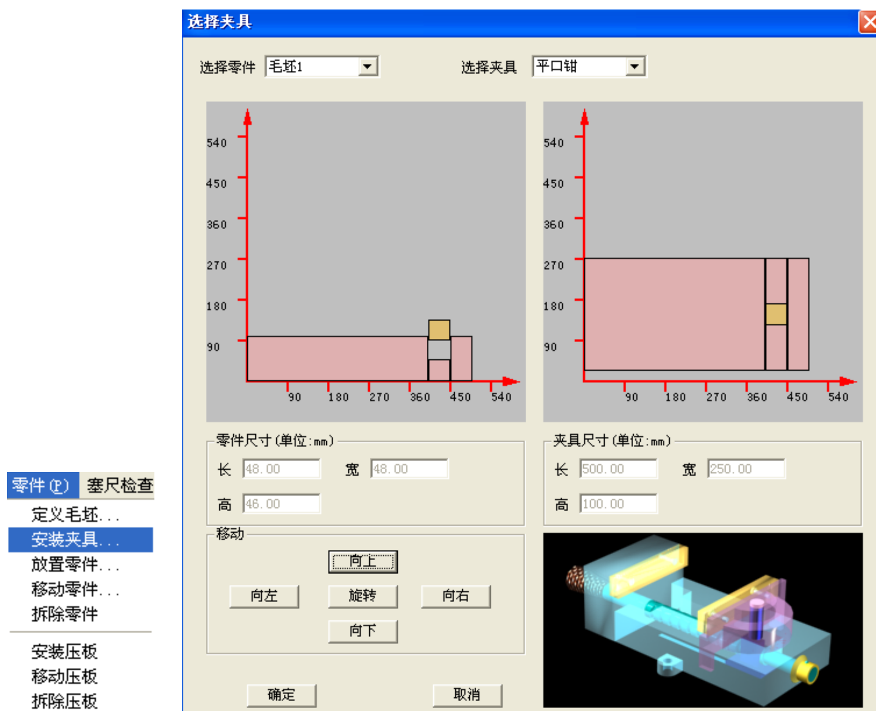


图 7-34　安装夹具

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件…”命令，或者在工具条上选择图标，如图 7-35 所示。选择已定义好的毛坯，单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

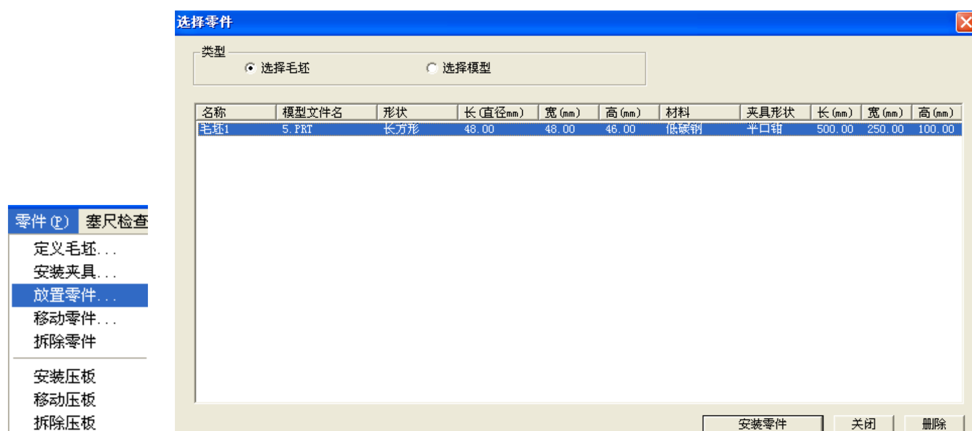


图 7-35　安装零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床/选择刀具…”命令，选出直径是 15.00 和 8.00 的平底刀具，如图 7-36 所示。

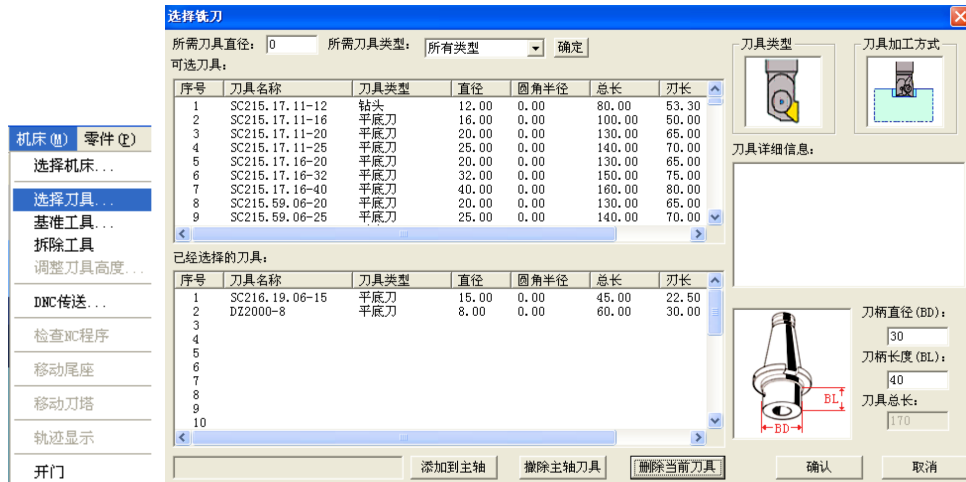


图 7-36 刀具定义及安装

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具…”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。

装好后的刀具如图 7-37 所示。

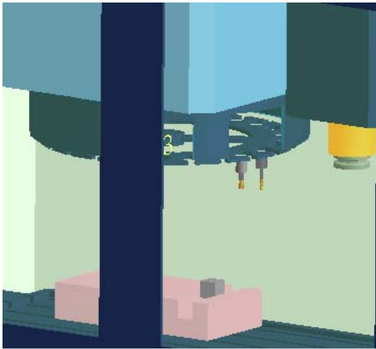


图 7-37 刀具安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按PROG键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好。

7. 对刀

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具…”命令，如图 7-38 所示。

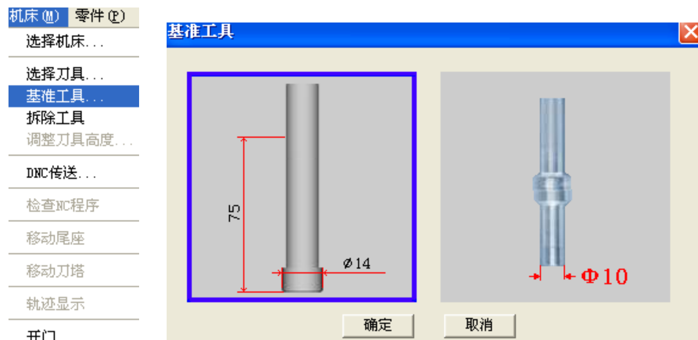


图 7-38　刀具定义及安装

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）适当单击+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移动到适当的位置。

3）采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-39 所示。

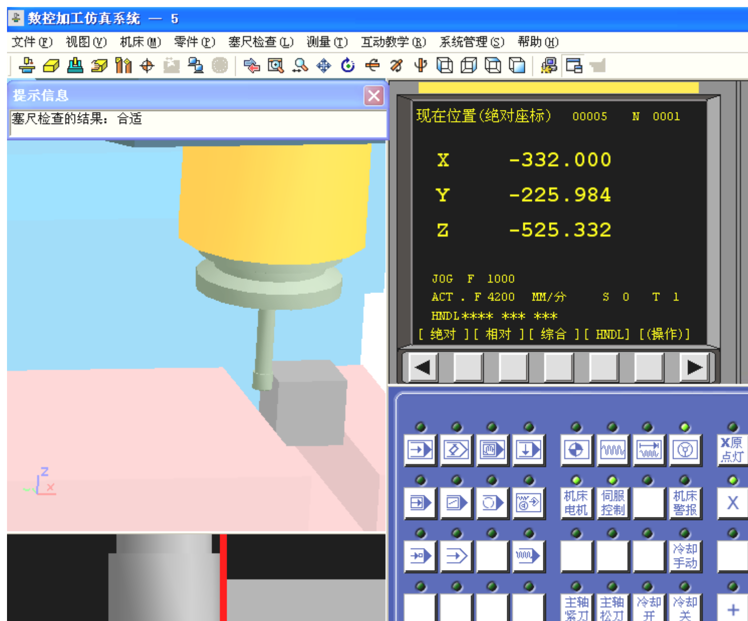


图 7-39　X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中间为工件原点，G54 中的 X=–332+7+1（塞尺宽度）+ 24=–300，然后进入OFFSET SETTING界面，在 G54 的 X 中输入“–300.000”，如图 7-40 所示。



图 7-40　X 坐标设置

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y。

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”，将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击+Z按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具”，拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移到适当的位置。用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z-502，真实的 Z 坐标值应该为 Z-502 减去塞尺厚度 1，即为 Z-503。将–503.000 输入 01 号刀具长度补偿，同时可以输入半径补偿 7.500，如图 7-41 所示。

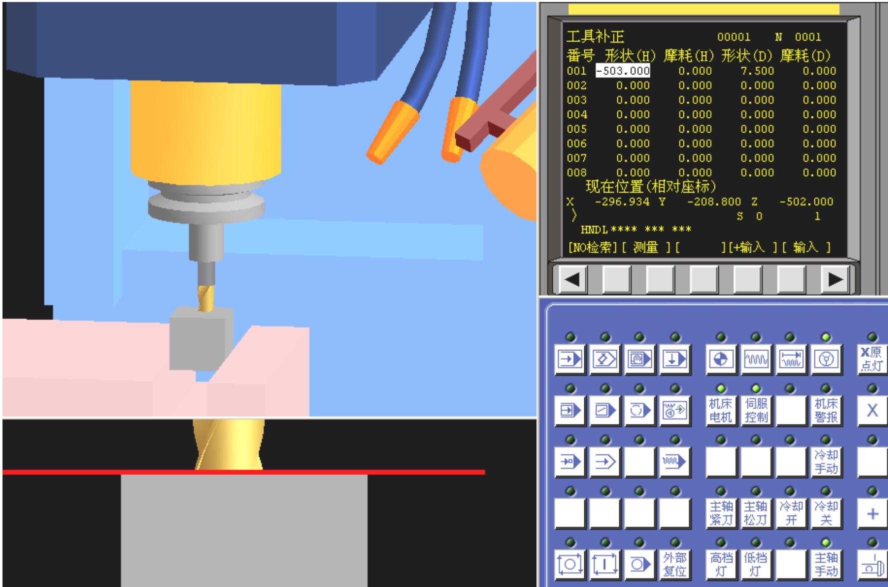


图 7-41　Z 向对刀

用同样的方法完成 2 号刀具方向 Z 向对刀，同时可以输入半径补偿 4。最终设置情况如图 7-42 所示。



图 7-42　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-43 所示。

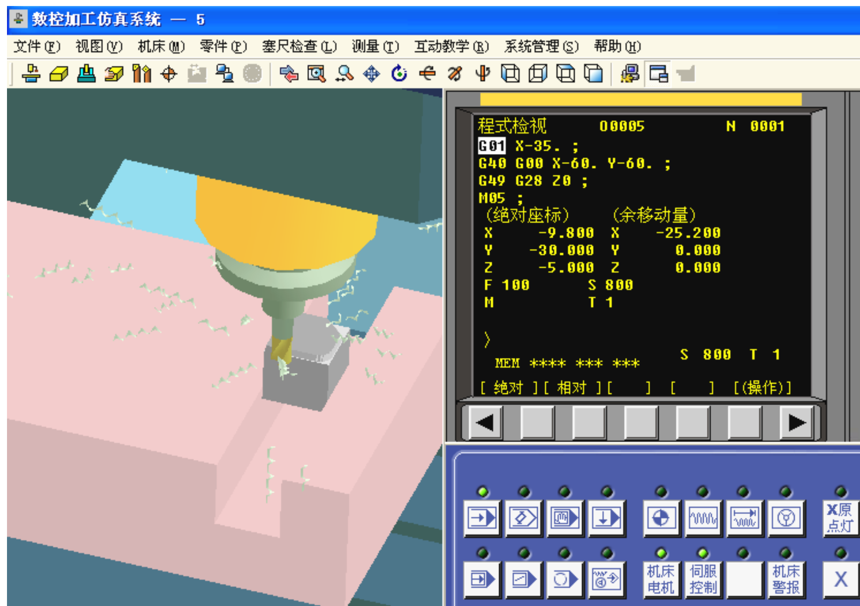


图 7-43　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-44 所示。

7.2.7 检测与分析

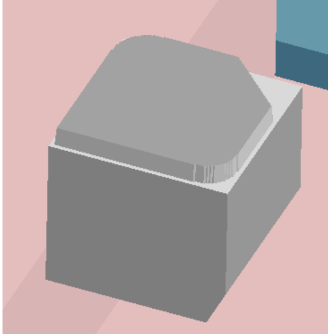


图 7-44 零件加工结果

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-45 所示。

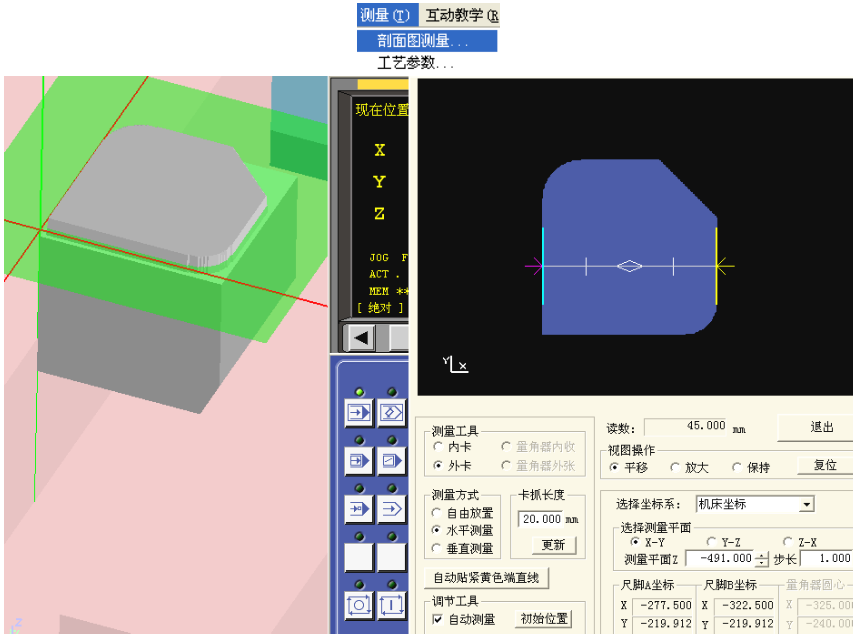


图 7-45 尺寸检查

7.3 应用子程序的零件数控铣削仿真加工

7.3.1 零件图样及信息分析

如图 7-46 所示零件，毛坯是 100mm×80mm×30mm 的方坯，材料为 45 钢，切

削性能较好。表面质量要求较高，需要经过粗、精加工才能达到零件的加工要求。

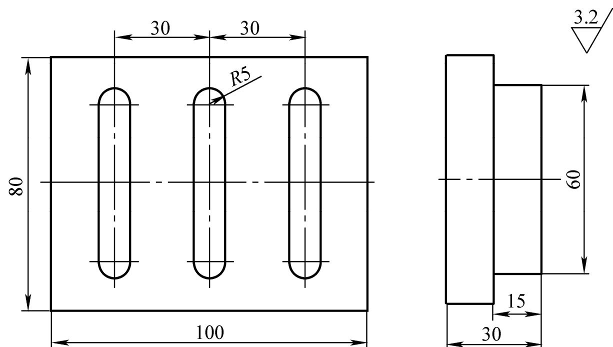


图 7-46　零件图形

7.3.2　相关基础知识

1. 子程序概述

在一个加工程序的若干位置，如果包含一连　在写法上完全相同或相似的内容，为了简化程序，可以把这些重复的程序段单独列出，并按一定的格式编写成子程序。主程序在执行过程中如果需要某一子程序，可以通过调用指令来调用该程序，子程序执行后又可以返回主程序，继续执行后面的程序段。子程序在数控编程中应用相当广泛。合理、正确地应用子程序功能，能为编写和修改加工程序带来很大方便，可大大提高工作效率。子程序的应用原则：

1）零件上有若干处相同的轮廓形状。在这种情况下只编写一个子程序，然后用主程序调用该子程序就可以了。

2）加工中反复出现有相同轨迹的走刀路线。被加工的零件需要刀具在某一区域内分层或分行反复走刀，走刀轨迹总是出现某一特定的形状，采用子程序比较方便，此时通常要以增量方式编程。

3）程序的内容具有相对的独立性。在加工较复杂的零件时，往往包含许多独立的工序，有时工序之间的调整也是允许的，为了优化加工顺序，把每一个的工序编成一个独立的子程序，主程序中只需加入换刀和调用子程序等指令即可。

2. 子程序 M98、M99

（1）指令含义

M98：调用子程序；

M99：子程序结束。

（2）调用子程序格式

M98　P××××××××

子程序格式：

O××××（子程序号）

⋮

M99

说明：

1）P 后的前　位数为子程序被重复调用的次数，当不指定重复次数时，子程序只调用一次。后 4 位数为子程序号。

2）M99 为子程序结束。

3）M98 程序段中，不得有其他指令出现。

4）子程序还可以调用子程序，称为子程序　套，如图 7-47 所示。

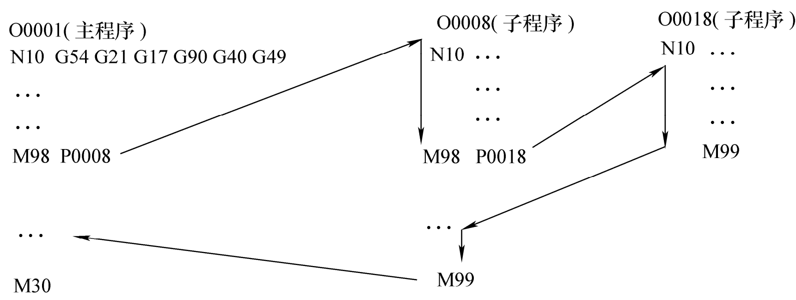


图 7-47　子程序　套

3．M99 **指令的特殊用法**

1）M99 用于主程序最后程序段，在执行 M99 指令时，程序执行指针会跳回主程序的第一程序段继续执行此程序，所以此程序将一直重复执行，除非按下 RESET 键才能中断执行。此种方法常用于数控铣床或加工中心开机后的热机程序。

2）程序中若出现指令格式为 M99　P__；（P 后为程序段号）的程序段，在执行该段时，程序将返回到地址 P 后数字所表示的程序段去执行。该种用法通常与选择性程序段删除指令同时使用。

7.3.3　加工方法

1）该零件的轮廓，要求加工三个凸台，凸台间　20mm，Z 方向加工深度 15mm，如果粗加工一次切削 15mm，则吃刀量太大，应分三层铣削，每次切深为

5mm。精加工则可以一次完成，以保证表面光滑。Z 方向分层加工时，层内子程序的起点和终点轨迹必须重合。

2）三个凸台位置不同，但尺寸和间距相同，编程时只需作 X 向偏移。其子程序中 X 向可以采用 G91 增量编程，以完成三个凸台 X 向等距平移加工。考虑到同一程序段内有 Y 坐标，所以 Y 坐标也得用 G91 增量编程。

7.3.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件的一个凸台粗加工走刀路线如图 7-48 所示，从 *S* 点出发，粗、精加工采用 Φ16 立铣刀，精铣余量为 0.5mm。当加工完一个凸台后，再平移 30mm 加工另外 2 个凸台。

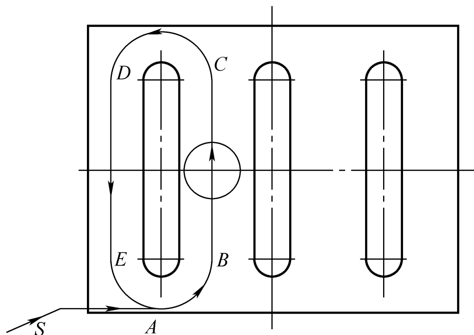


图 7-48　走刀路线

工件坐标系 G54 建立在工件中心的上表面。

7.3.5　零件程序

程序如下：

```
O0003                                        主程序
G17  G21  G40  G49  G80  G90  G94
G91  G28  Z0
T1  M6
G90  G54  G0  X0  Y0  S1000  M3
G43  Z20  H1
Z5
X-70  Y-40
G1  Z0.3  F100                               Z 向留精加工余量 0.3mm
```

```
M98  P30002  F300  D1           粗加工 Z 向分三层加工，刀补 D01=8.5
G91  G0  Z4.7
M98  P2  S1500  F200  D2        精加工 Z 直接下到 Z-15，刀补 D02=8
G49  G0  Z0
M30

O2                              Z 向循环子程序及边角加工子程序
G91  G1  Z-5                    粗加工 Z 向增量 5mm
G90  G42  G1  X-60  Y-30        建立刀补
M98  P30003                     在 XY 平面平移执行 3 次凸台子程序
G90  G1  X60
G0  Y16
G1  X26  Y38
G0  X-26
G1  X-60  Y16
G40  G0  X-70  Y-40
M99

O3                              在 XY 平面内加工凸台子程序
G91  G1  X30
G3  X5  Y5  R5
G1  Y50
G3  X-10  R5
G1  Y-50
G3  X5  Y-5  R5
M99
```

7.3.6 仿真加工

1．选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床…”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-49 所示。

2．开机

单击启动按钮，此时车床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。



图 7-49　选择机床

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0003”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送…”，在弹出的

对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-50 所示。

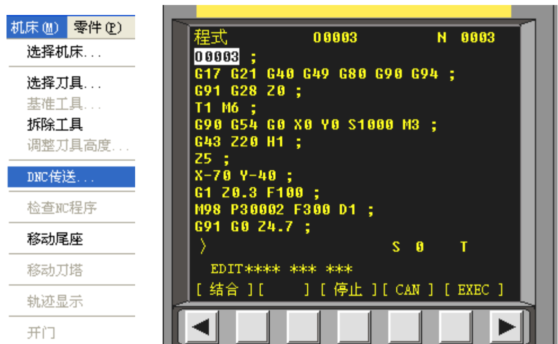


图 7-50　程序调入

5．定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-51 所示，定义好毛坯。

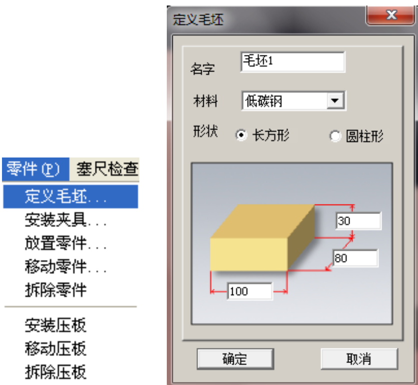


图 7-51　定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具...”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-52 所示。

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件”命令，或者在工具条上选择图标，如图

7-53 所示。单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

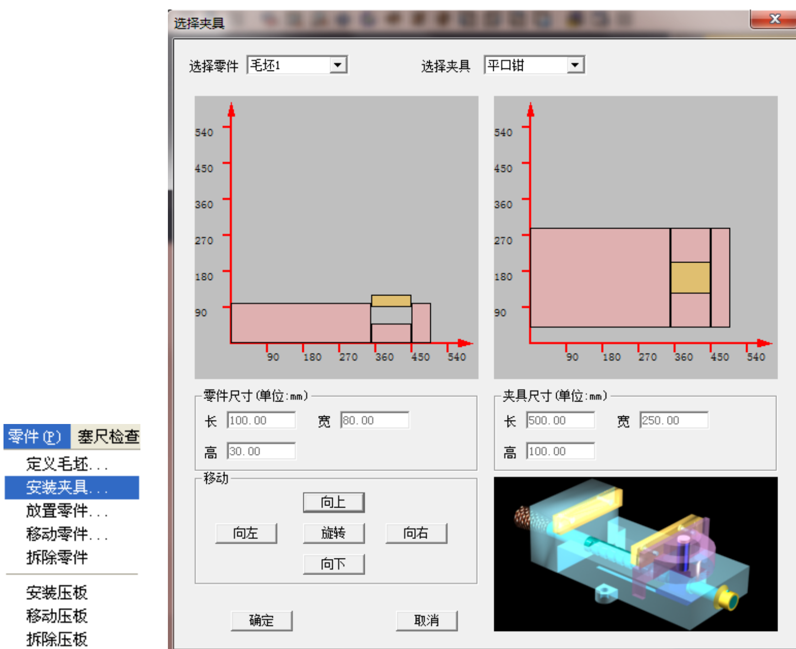


图 7-52　安装夹具

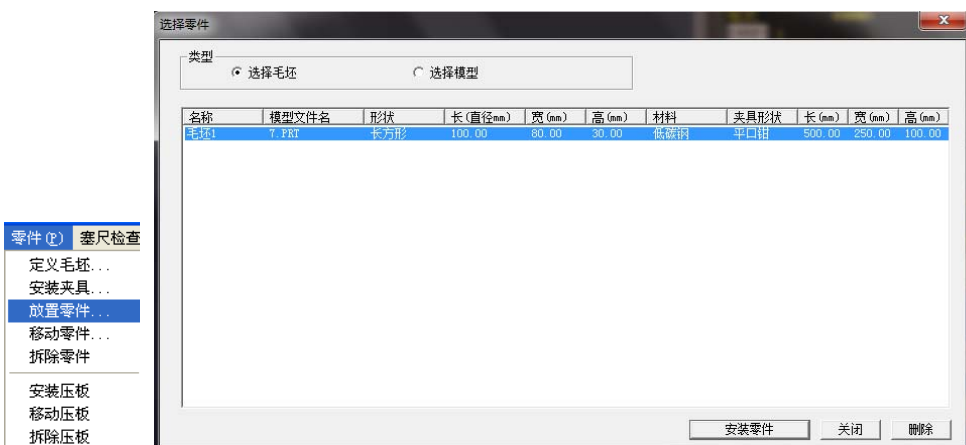


图 7-53　放置零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具...”命令，选出直径是 16.00 的平底刀具，

如图 7-54 所示。

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具…”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。



图 7-54 刀具定义及安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按 PROG 键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好，如图 7-55 所示。



图 7-55 刀具安装

7. 对刀

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具…”命令，如图 7-56 所示。

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）适当单击+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移动到适当的位置。

3）采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

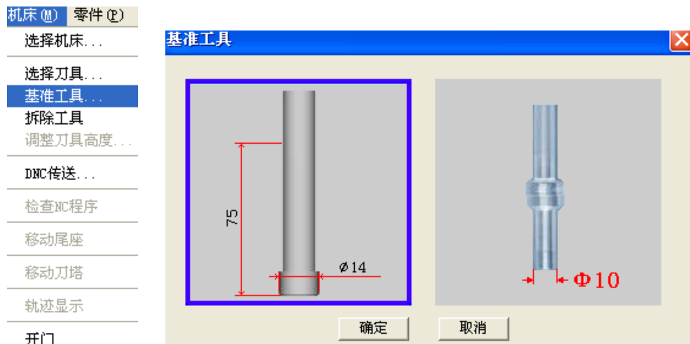


图 7-56　刀具定义及安装

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-57 所示。



图 7-57　X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中间为工件原点：G54 中的 X =−358+7+1（塞尺宽度）+50=−300，然后进入界面，

在 G54 的 X 中输入“–300.000”，如图 7-58 所示。

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y=–215.000，如图 7-59 所示。



图 7-58　X 坐标设置



图 7-59　X、Y 坐标设置

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”，将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击+Z按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具…”，拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移到适当的位置。用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z-463，如图 7-60 所示。



图 7-60　Z 向对刀

真实的 Z 坐标值应该为 Z-463 减去塞尺厚度 1，即为 Z-464，将–464.000 输入 01 号刀具长度补偿，同时可以输入粗加工半径补偿 D01=8.5、精加工半径补偿 D02=8。最终设置情况如图 7-61 所示。

图 7-61　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

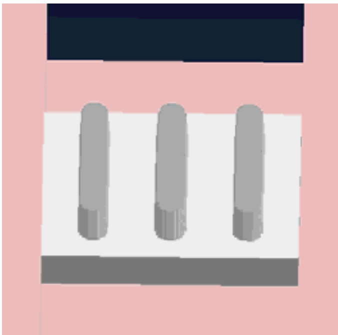
单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-62 所示。

图 7-62　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-63 所示。

7.3.7　检测与分析


图 7-63　零件加工结果

1. **检测与分析项目**

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. **检测与分析零件尺寸**

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-64 所示。

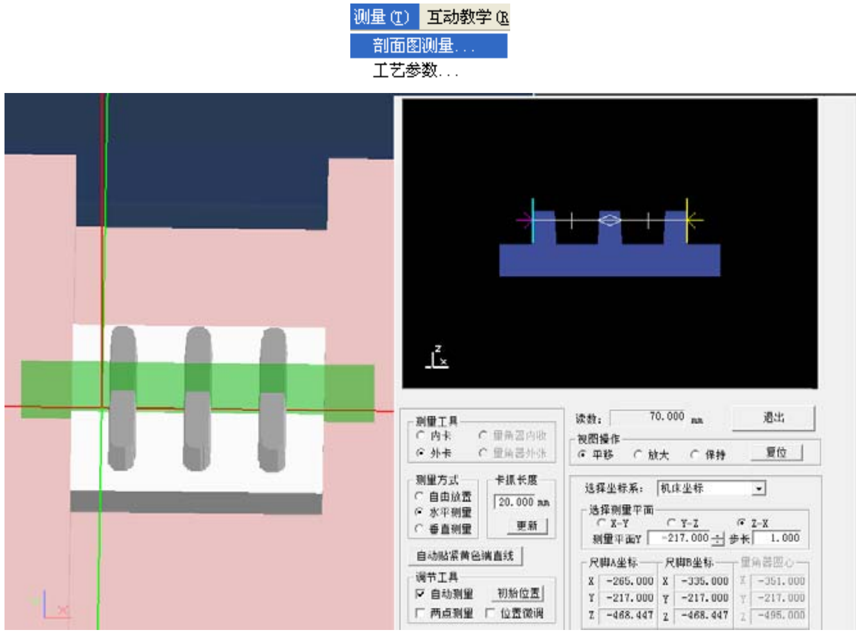


图 7-64　尺寸检查

7.4　应用孔类循环功能的零件数控铣削仿真加工

7.4.1　零件图样及信息分析

如图 7-65 所示零件，毛坯是 100mm×100mm×30mm 的方坯，材料为 45 钢，切削性能较好，表面质量要求较高。

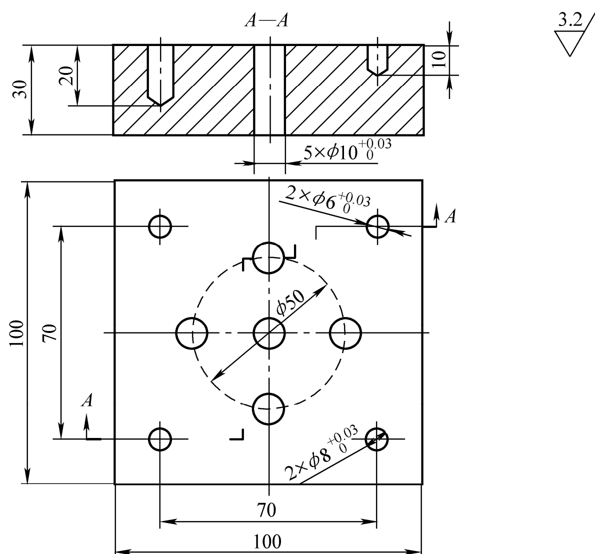


图 7-65　零件图

7.4.2　相关基础知识

1. 固定循环的基本动作

孔加工是数控加工中最常见的加工工序，数控铣床和加工中心通常都具有能完成钻孔、镗孔、铰孔和　螺纹等加工的固定循环功能。本节介绍的固定循环功能指令，即是针对各种孔的加工，用一个 G 代码即可完成。该类指令为模态指令，使用它编程加工孔时，只需给出第一个孔加工的所有参数，接着加工孔凡与第一个孔有相同的参数均可省略，这样可极大地提高编程效率，而且使程序变得简单易读。表 7-4 列出了这些指令的基本含义。

表 7-4　固定循环功能指令一览表

指　　令	-Z 方向的进刀	孔底位置的动作	+Z 方向的退回动作	用　　途
G73	间　进给		快速移动	高速深孔　钻循环
G74	切削进给	主轴停止→主轴正转	切削进给	左螺纹循环
G76	切削进给	主轴定向停止	快速移动	精镗孔循环
G80				固定循环取消
G81	切削进给		快速移动	钻孔循环
G82	切削进给	暂停	快速移动	孔钻孔循环

（续）

指　　令	–Z 方向的进刀	孔底位置的动作	+Z 方向的退回动作	用　　途
G83	间　进给		快速移动	深孔　钻循环
G84	切削进给	主轴停止→主轴反转	切削进给	右螺纹循环
G85	切削进给		切削进给	铰孔循环
G86	切削进给	主轴停止	快速移动	镗孔循环
G87	切削进给	主轴停止	快速移动	背镗孔循环
G88	切削进给	暂停→主轴停止	手动操作	镗孔循环
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗孔循环

孔加工固定循环一般由下述 5 个动作组成，如图 7-66 所示。

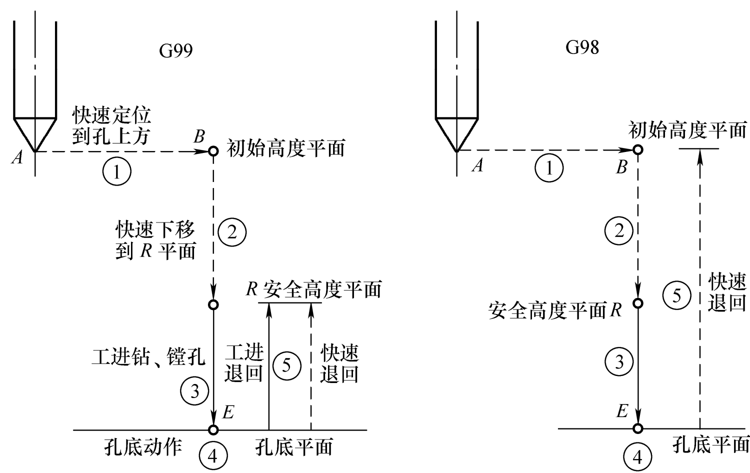


图 7-66　孔加工动作

动作 1——X 轴和 Y 轴定位：使刀具快速定位到孔加工的位置。

动作 2——快进到 *R* 点：刀具自初始点快速进给到 *R* 点。

动作 3——孔加工：以切削进给的方式执行孔加工的动作。

动作 4——孔底动作：包括暂停、主轴准停、刀具移位等动作。

动作 5——分为两种情况，一种是加工完成后返回到 *R* 点，继续加工其他孔；另一种是加工完后返回到起始点，一般是所有孔加工完成后应选择返回初始点。

说明：

1）固定循环指令中地址 R 与地址 Z 的数据指定与 G90 或 G91 的方式选择有关。选择 G90 方式时，R 与 Z 一律取其终点坐标值；选择 G91 方式时，则 R 是指自起始点到 *R* 点间的距离。

2）起始点是为安全下刀而规定的点。该点到零件表面的距离可以任意设定

在一个安全的高度上。当使用同一把刀具加工若干孔时，只有孔间存在　　需要跳　或全部孔加工完毕时，才使用 G98 功能使刀具返回到起始点。

3）*R* 点又叫参考点，是刀具下刀时自快进转为工进的转换起点。距工件表面的距离主要考虑工件表面尺寸的变化，一般可取 2～5mm。使用 G99 时，刀具将返回到该点。

4）加工不通孔时，孔底平面就是孔底的 Z 轴高度；加工通孔时，一般刀具还要伸出工件底平面一段距离，这主要是保证全部孔深都加工到规定尺寸。钻削加工时，还应考虑钻头尖对孔深的影响。

5）孔加工循环与平面选择指令（G17、G18 或 G19）无关，即不管选择了哪个平面，孔加工都是在 XY 平面上定位并在 Z 轴方向上加工孔。

2．孔加工固定循环指令格式

格式：G98/G99　G××　X__　Y__　Z__　R__　Q__　P__　F__　K__

说明：

1）G××是孔加工固定循环指令，即 G73～G89。

2）X、Y 指定孔在 XY 平面的坐标位置（增量或绝对值）。

3）Z 指定孔底坐标值。用增量方式时，是 *R* 点到孔底的距离；用绝对值方式时，是孔底的 Z 坐标值。

4）在增量方式中，*R* 是指起始点到 *R* 点的距离；而在绝对值方式中是指 *R* 点的 Z 坐标值。

5）Q 在 G73、G83 中用来指定每次进给的深度，在 G76、G87 中指定刀具位移量。

6）P 用来指定暂停的时间，最小单位为 1ms。

7）F 为切削进给的进给量。

8）K 用来指定固定循环的重复次数。只循环一次时，K 可不指定。

9）G73～G89 是模态指令。一旦指定，一直有效，直到出现其他孔加工固定循环指令，或固定循环取消指令（G80），或 G00、G01、G02、G03 等插补指令时才　效。因此，多孔加工时该指令只需指定一次。以后的程序段只需给出孔的位置即可。

10）固定循环中的参数（Z、R、Q、P、F）是模态的，当变更固定循环方式时，被使用的参数可以继续使用，不需重设。但中间如果　有 G80 或 G01、G02、G03 指令，不受固定循环的影响。

11）在使用固定循环编程时，一定要在前面程序段中指定 M03（或 M04），使主轴起动。

12）若在固定循环指令程序段中同时指定一后指令 M 代码（如 M05、M09），

则该 M 代码并不是在循环指令执行完成后才被执行，而是执行完循环指令的第一个动作（X、Y 轴向定位）后，即被执行。因此，固定循环指令不能和后指令 M 代码同时出现在同一程序段。

13）当用 G80 指令取消孔加工固定循环后，那些在固定循环之前的插补模态（如 G00、G01、G02、G03）恢复，M05 指令也自动生效（G80 指令可使主轴停转）。

14）在固定循环中，刀具半径补偿指令（G41、G42）无效，刀具长度补偿指令（G43、G44）有效。

3．固定循环指令

（1）高速深孔　钻循环指令（G73）

格式：G73　X__　Y__　Z__　R__　Q__　F__

G73 用于高速深孔钻削，一般孔深大于 5 倍直径孔的加工是深孔加工。如图 7-67 所示，每次背吃刀量为 q（用增量表示，在指令中给定）；退刀量为 d，由 NC 系统内部通过参数设定。G73 指令在钻孔时是间　进给，有利于断屑、排屑，适用于深孔加工。

（2）　左旋螺纹循环指令（G74）

格式：G74　X__　Y__　Z__　R__　F__

G74 用于左旋　螺纹。如图 7-68 所示，执行过程中，注意以下几点：

1）主轴反转进刀，正转退刀。

2）执行 G74 时，百分率进给调整无效，调整自动变为 100%。

3）主轴转速与进给速度成严格的比例关系。

4）R 点应选择离工件表面比较远的位置。

5）　螺纹过程要求主轴转速与进给速度成严格的比例关系，否则就会　扣，因此要求编程时根据主轴转速计算进给速度。　螺纹的进给速度为 $v_f=p\times n$（p 为螺纹导程，n 为主轴转速）。

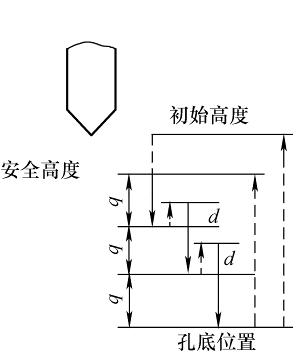


图 7-67　G73 加工循环功能

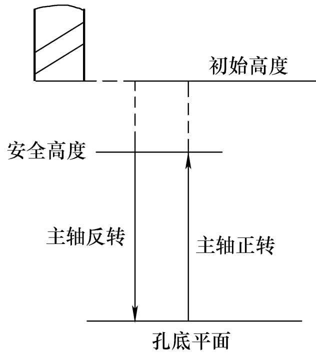


图 7-68　G74 加工循环功能

（3）精镗孔循环指令（G76）

格式：G76　X__　Y__　Z__　R__　Q__　F__

如图 7-69 所示，q 表示刀具移动量（规定为正值，若使用了负值则负号被忽略）。在孔底主轴定向停止后，刀头按地址 q 所指定的偏移量移动，然后提刀，刀头的偏移量在 G76 指令中设定。采用这种镗孔方式可以高精度、高效率地完成孔加工而不损伤工件表面。

（4）钻孔循环指令（G81）

格式：G81__　X__　Y__　Z__　R__　F__

G81 用于一般钻孔循环，用于定点钻，如图 7-70 所示。

注意事项：

1）该指令一般用于加工孔深小于 5 倍直径的孔。

2）打中心孔要把 60° 锥面打出一些，主要是正确引导钻头引钻。

3）打通孔时，要加深钻头深度。

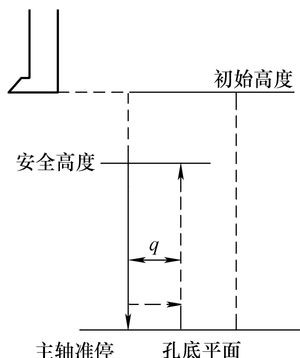


图 7-69　G76 加工循环功能

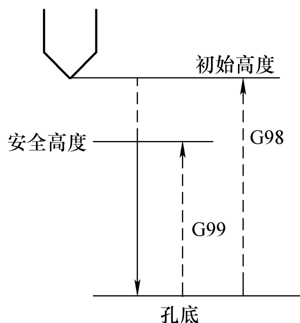


图 7-70　G81 加工循环功能

（5）　孔钻孔循环指令（G82）

格式：G82　X__　Y__　Z__　R__　P__　F__

G82 用于钻孔、镗孔。动作过程和 G81 类似，但该指令将使刀具在孔底暂停，暂停时间由 P 指定，孔底暂停可确保孔底平整，如图 7-71 所示。常用于加工锪孔、　头台阶孔。

（6）深孔　钻循环指令（G83）

格式：G83　X__　Y__　Z__　R__　Q__　F__

G83 用于深孔钻削。如图 7-72 所示，q、d 与 G73 相同，G83 和 G73 的区别是：G83 指令在每次进刀 q 深度后都返回安全平面高度处，再下去作第二次进给，这样更有利于钻深孔时的排屑。本指令适合于加工较深的孔。

（7）　右旋螺纹循环指令（G84）

格式：G84　X__　Y__　Z__　R__　F__

G84 用于右旋　螺纹。G84 指令和 G74 指令中的主轴转向相反，如图 7-73 所示，其他和 G74 相同。

（8）铰孔循环指令（G85）

格式：G85　X__　Y__　Z__　R__　F__

G85 用于铰孔。动作过程和 G81 一样，G85 进刀和退刀时都为工进速度，但返回行程中，从 Z 到 R 段为切削进给，以保证孔壁光滑，如图 7-74 所示。

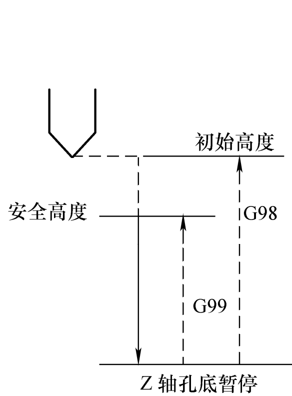


图 7-71　G82 加工循环功能

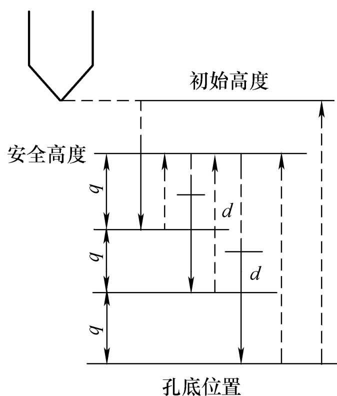


图 7-72　G83 加工循环功能

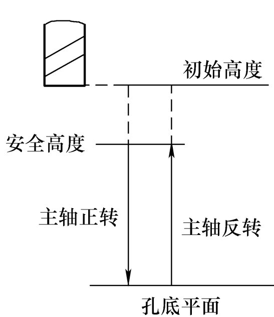


图 7-73　G84 加工循环功能

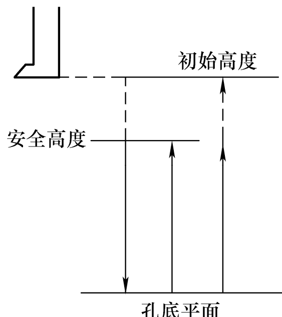


图 7-74　G85 加工循环功能

（9）粗镗孔循环指令（G86）

格式：G86　X__　Y__　Z__　R__　F__

G86 用于镗孔。动作过程和 G81 类似，但 G86 进刀到孔底后将使主轴停转，然后快速退回安全平面或初始平面。由于退刀前没有让刀动作，快速回退时可能划伤已加工表面，因此只用于粗镗。

（10）反镗孔循环指令（G87）

格式：G86　X__　Y__　Z__　R__　F__

G87 用于反向镗孔，如图 7-75 所示。其动作过程如下：

1）镗刀快速定位到镗孔加工循环起始点。

2）主轴准停，刀具沿刀尖的反方向偏移。

3）快速运动到孔底位置。

4）刀尖正方向偏移回加工位置，主轴正转。

5）刀具向上进给到孔底 Z;

6）主轴准停，刀具沿刀尖的反方向偏移 q 值。

7）镗刀快速退出到初始平面。

8）沿刀尖正方向偏移。

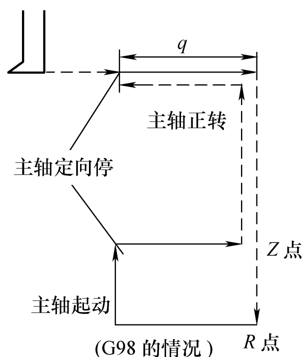


图 7-75　G87 加工循环功能

（11）取消固定循环指令（G80）

格式：G80

当固定循环指令不再使用时，应用 G80 指令取消固定循环，而回复到一般指令状态（如 G00、G01、G02、G03 等），此时固定循环指令中的孔加工数据（如 Z 点、R 点值等）也被取消。

7.4.3　加工方法

1）该零件只需要加工所有的孔，按照要求每个孔需要三步才能完成加工，即

① 打中心孔。

② 选择合适的钻头，钻孔。

③ 铰孔。

但仿真软件只有钻头，因此在本次加工的时候，主要展示钻孔功能，故直接采用钻孔功能一次满足要求。

2）一般孔深大于 5 倍直径孔的加工是深孔加工，为了让指令比较充分展示，因此对 $\phi8$ 和$\phi10$ 的孔采用深孔指令 G83 完成。

7.4.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标。该零件加工顺序如图 7-76 所示，按照 1～9 顺序加工。

工件坐标系 G54 建立在工件中心的上表面。

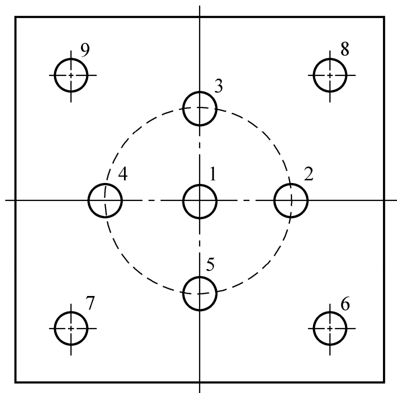


图 7-76　走刀路线

7.4.5　零件程序

O0004

```
G17   G21   G40   G49   G80   G90   G94
G91   G28   Z0
M05
T1   M6
G90   G54   G0   X0   Y0   S450   M3
G43   Z50   H1
G99   G83   Z-33   R5   Q5   F50                    加工φ10 的孔
X25   Y0
X0   Y25
X-25   Y0
X0   Y-25
G80
G91   G28   Z0
M05
T2   M6
G90   G43   G0   Z50   H2
S450   M3
G99   G83   X35   Y-35   Z-20   R5   Q5   F50      加工φ8 的孔
X-35
G80
G91   G28   Z0
M05
T3   M6
G90   G43   G0   Z50   H3
S500   M3
G99   G81   X35   Y35   Z-10   R5   F50            加工φ6 的孔
X-35
G80
G49   G0   Z0
M30
```

7.4.6 仿真加工

1. **选择机床**

单击菜单“零件”→“选择机床…”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-77 所示。

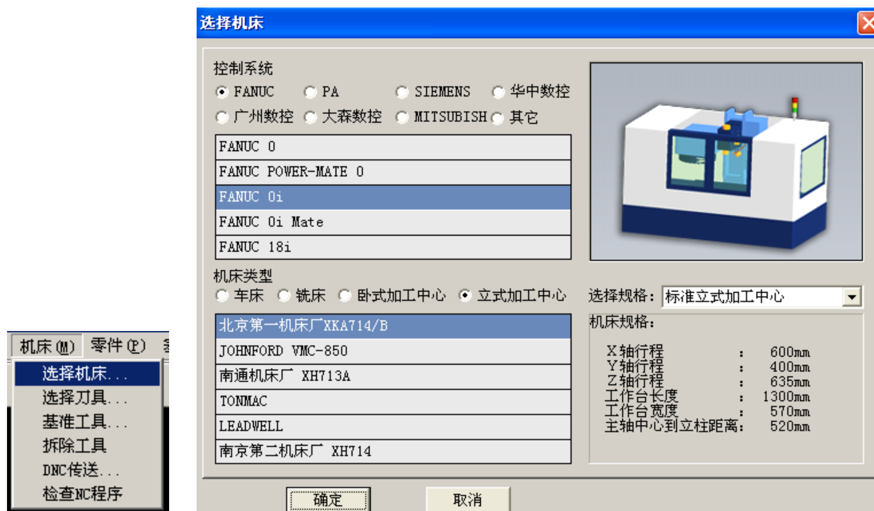


图 7-77　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键 [操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，

输入“O0004”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-78 所示。

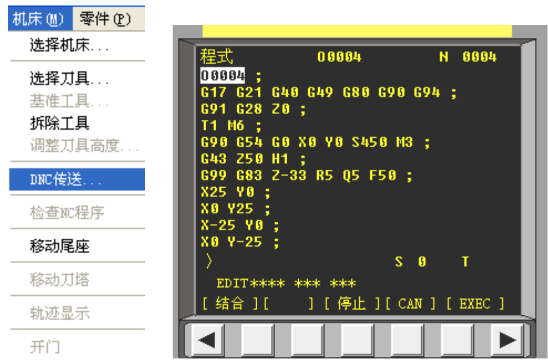


图 7-78 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-79 所示，定义好毛坯。

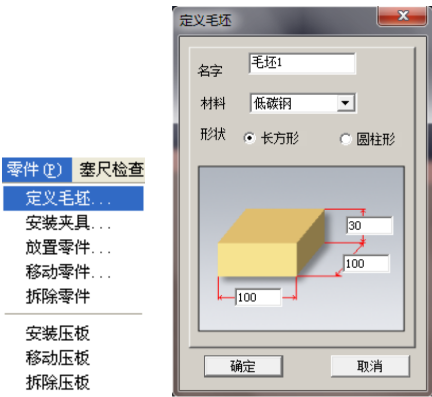


图 7-79 定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具...”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-80 所示。

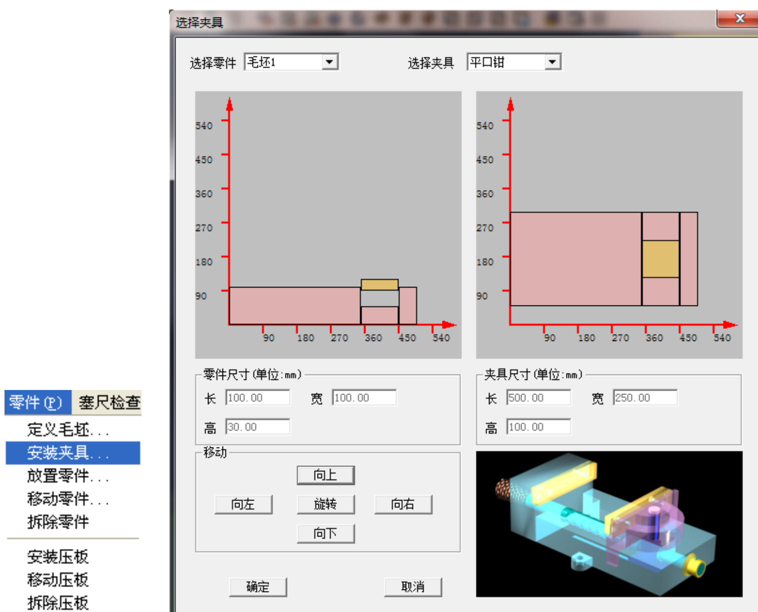


图 7-80　安装夹具

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件...”命令，或者在工具条上选择图标，如图 7-81 所示。单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

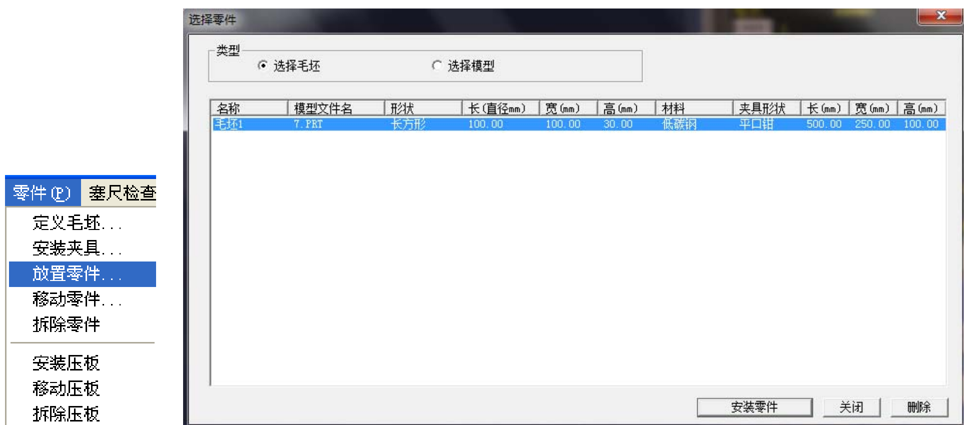


图 7-81　安装零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具...”命令，按条件列出工具清单，选出直径

是 10.00、8.00 和 6.00 的钻头，如图 7-82 所示。



图 7-82　刀具定义及安装

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具...”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按 PROG 键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好，如图 7-83 所示。

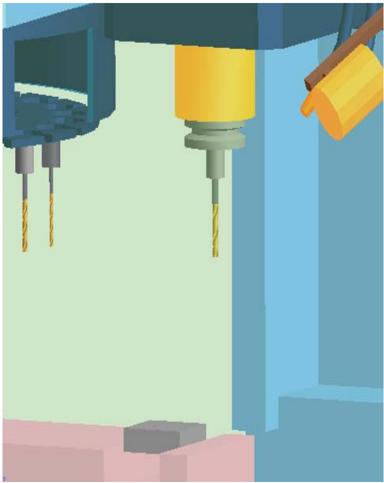


图 7-83　刀具安装

7. 对刀

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具...”命令，如图 7-84 所示。

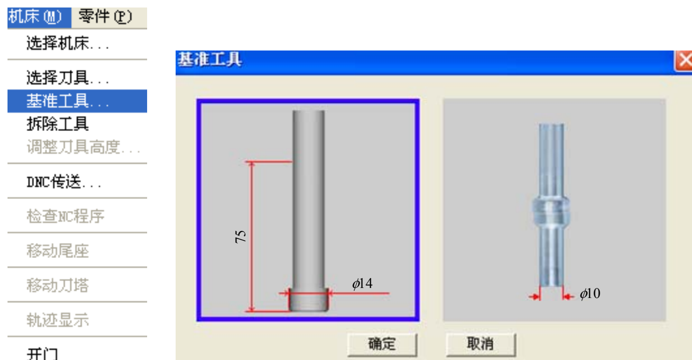


图 7-84　刀具定义及安装

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）适当单击+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移动到适当的位置。

3）采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击H显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-85 所示。

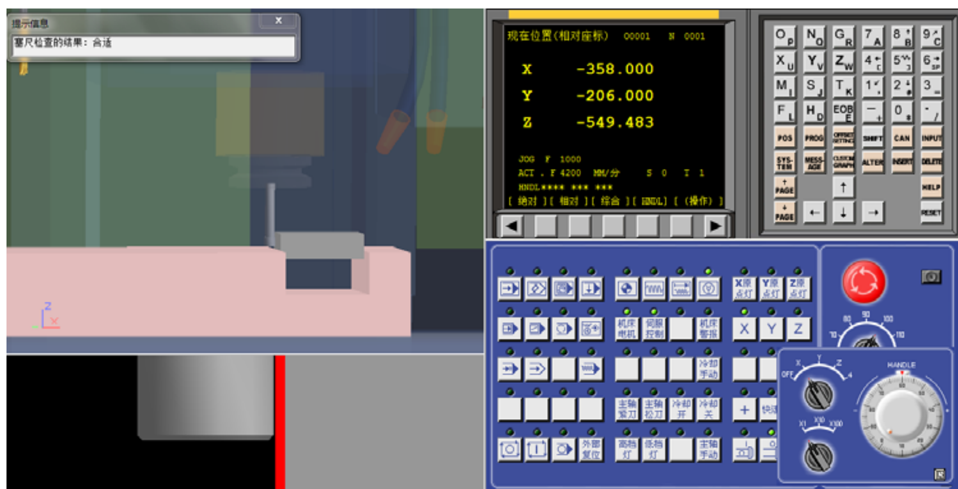


图 7-85　X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中间为工件原点：G54 中的 X=−358+7+1（塞尺宽度）+50=−300，然后进入OFFSET SETTING界面，

在 G54 的 X 中输入“−300.000”，如图 7−86 所示。

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y=−215.000，如图 7−87 所示。



图 7−86 X 坐标设置



图 7−87 X、Y 坐标设置

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具…”拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的、、、、、按钮，将机床移到适当的位置。用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z−463，如图 7−88 所示。

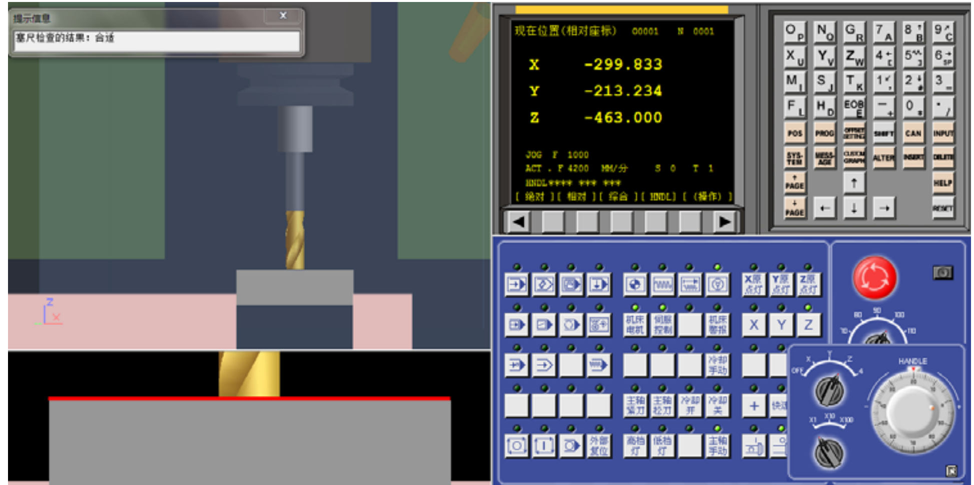


图 7−88 Z 向对刀

真实的 Z 坐标值应该为 Z-463 减去塞尺厚度 1，即为 Z-464，将–464.000 输入 01 号刀具长度补偿。

用同样的方法完成 2 号刀具、3 号刀具 Z 向对刀。最终设置情况如图 7-89 所示。



图 7-89　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-90 所示。

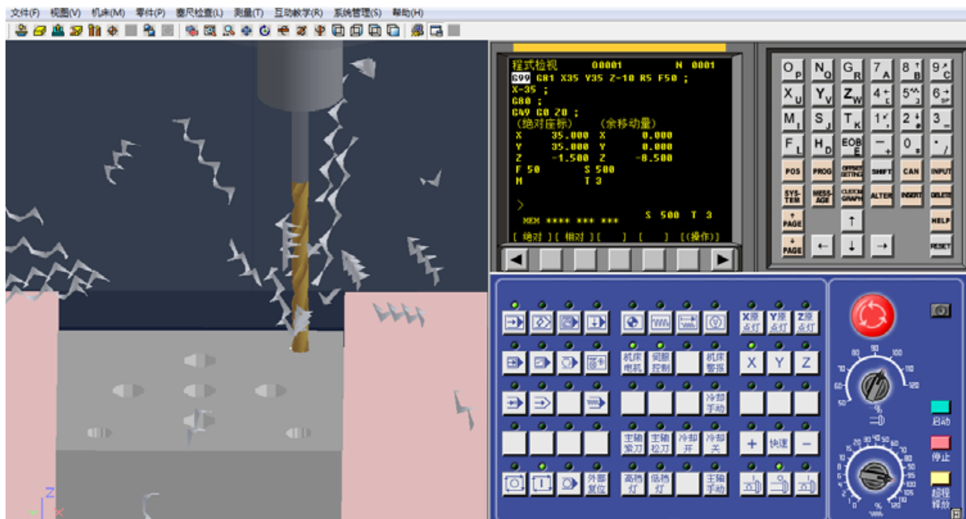


图 7-90　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-91 所示。

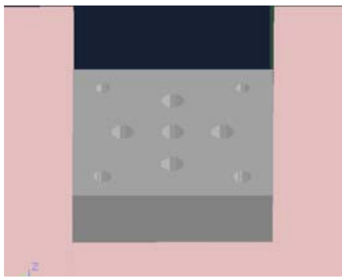


图 7-91 零件加工结果

7.4.7 检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量…”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-92 所示。

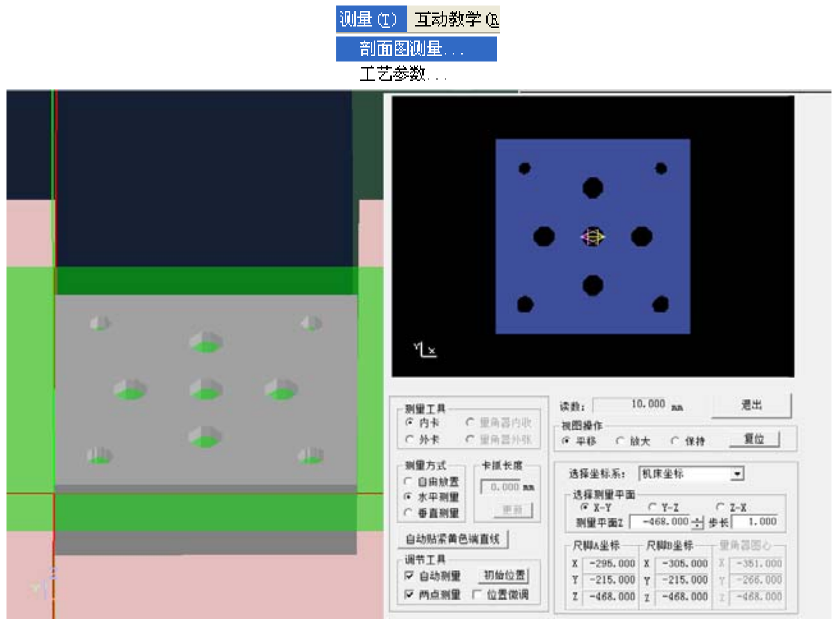


图 7-92 尺寸检查

7.5　零件数控铣削综合仿真加工

7.5.1　零件图样及信息分析

如图 7-93 所示零件，毛坯是 80mm×80mm×20mm 的方坯，材料为 45 钢，切削性能较好，表面质量要求较高。

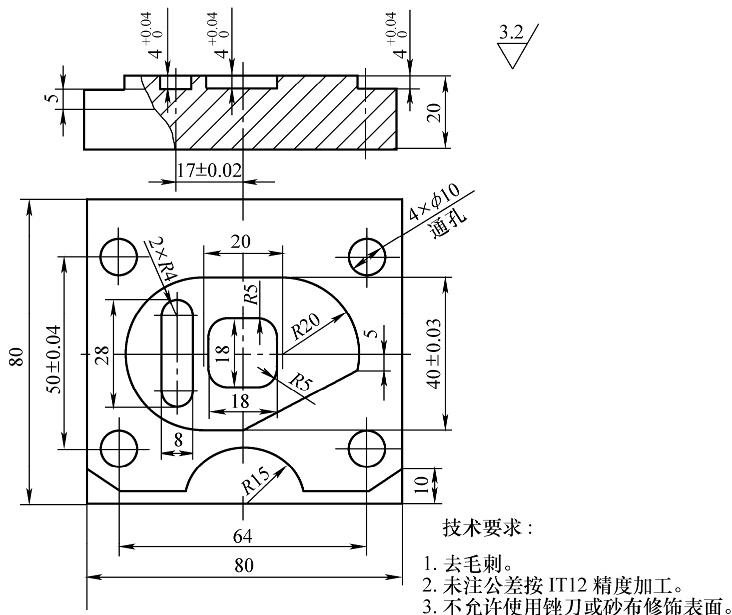


图 7-93　零件图

7.5.2　相关基础知识

请参见前面的相关指令。

7.5.3　加工方法

根据工艺知识，同时主要兼顾仿真软件功能，考虑加工方法如下：

1）选用ϕ63 的面铣刀加工上面轮廓，按工艺方便去除毛坯余量，应留精加工余量 0.5mm，但在此为了简化，采用一次性下刀加工。

2）用ϕ10 的立铣刀加工方形槽和前边轮廓，加工方形槽采用一次性下刀，前边轮廓采用两次下刀。

3）用ϕ6 立铣刀加工宽度为 8mm 的槽，采用一次性下刀加工。

4）因仿真软件没有中心钻和铰刀，因此直接用ϕ10 的钻头加工 4×ϕ10 的通孔。

7.5.4 走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标，工件坐标系 G54 建立在工件中心的上表面。

以选用ϕ63 的面铣刀加工上面轮廓为例，走刀路线如图 7−94 所示，其余走刀路线省略。

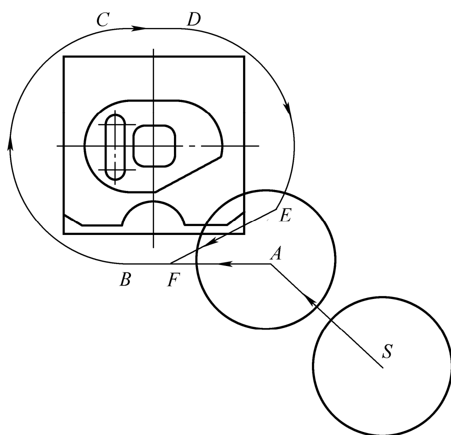


图 7−94 加工上面轮廓走刀路线

7.5.5 零件程序

程序如下：

O0005	主程序
G17 G21 G40 G49 G80 G90 G94	
G91 G28 Z0	
T1 M6	加工上面轮廓，刀具ϕ63 面铣刀
G90 G54 G0 X0 Y0 S1200 M3	
G43 Z20 H1	
Z5	
X100 Y−100	
G1 Z−4 F300	
G41 X50 Y−20 D1	D01=31.5

```
G1    X-10
G2    Y20    R20
G1    X10
G2    X29.365    Y-5    R20
G1    X0    Y-20
X-29.365    Y-35
G40    G0    X100    Y-100
G91    G28    Z0
M05
T2    M6                                        加工方形槽，刀具φ10 立铣刀
G90    G54    G0    X0    Y0    S2500    M3
G43    Z20    H2
Z5
G1    Z-4    F30
X4    F200
Y4
X-4
Y-4
X4
Y0
X0
G0    Z5
S2500    M3                                     加工下面轮廓，刀具φ10 立铣刀
X60    Y0
Z-4
M98    P0002
Z-6.5
M98    P0002
G0    Z-9
Y-50
X-5
G1    Y-36
X5
Y-50
G91    G28    Z0
```

```
M05
T3   M6                        加工宽度为 8mm 的槽，刀具φ6 立铣刀
G90   G54   G0   X0   Y0   S2500   M3
G43   Z20   H3
Z5
X-17   Y0
G1   Z-4   F30
X-18   F200
Y-10
G3   X-16   R1
G1   Y10
G3   X-18   R1
G1   Y-5
X-17
Y0
G0   Z5
G91   G28   Z0
M05
T4   M6                            钻孔，刀具φ10 钻头
G90   G54   G0   X0   Y0   S450   M3
G43   Z50   H4
G98   G83   X32   Y25   Z-25   R5   Q5   F50
X-32
Y-25
X32
G80
G49   G0   Z0
M30

O2                                 前边轮廓子程序
G91   G1   Z-2.5   F200
G90   G41   X50   Y-22.5   D2          D02=5
G1   X40   Y-30
X32   Y-36
X14.457
```

G3　X-14.457　Y-36　R15
G1　X-32
X-40　Y-30
X-50　Y-22.5
G0　Z2
G4　X0.5
G40　X60　Y0
M99

7.5.6　仿真加工

1．选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床…”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-95 所示。

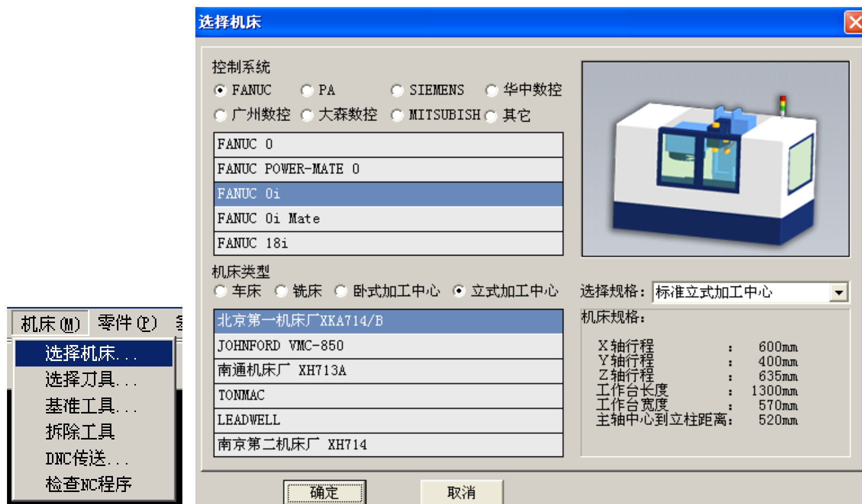


图 7-95　选择机床

2．开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3．回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴，Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0005”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-96 所示。

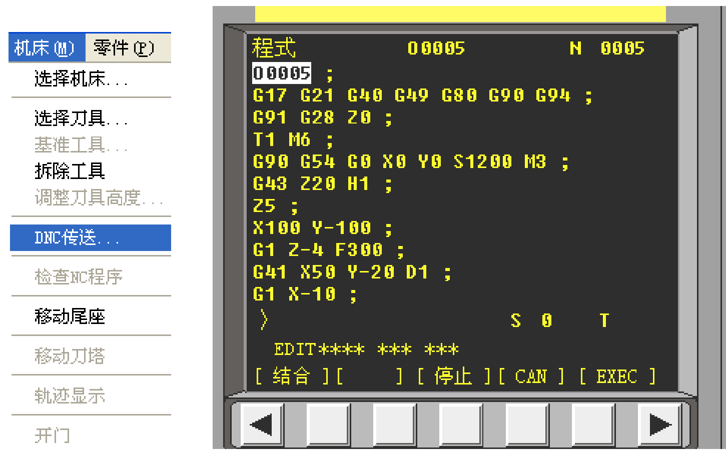


图 7-96　程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-97 所示，定义好毛坯。

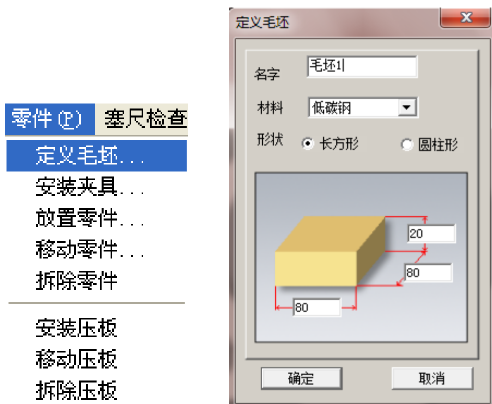


图 7-97　定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具...”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-98 所示。

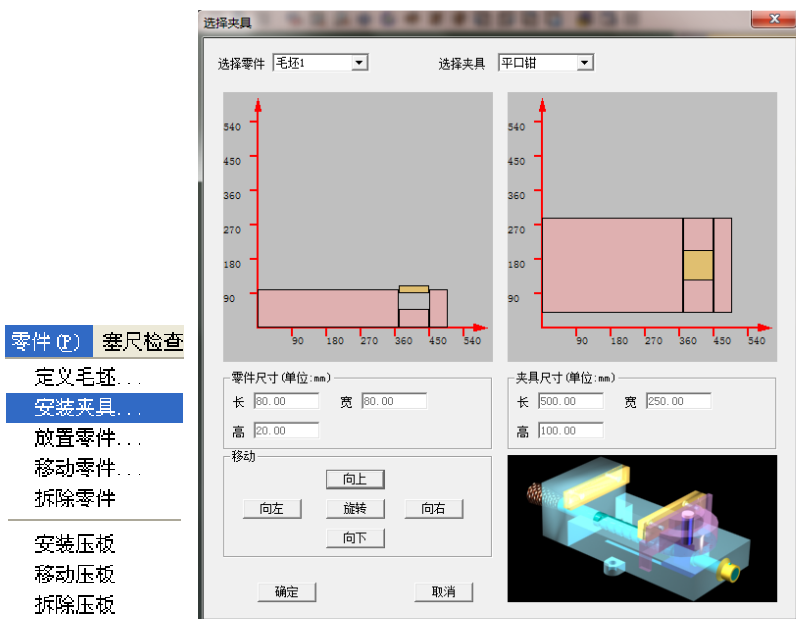


图 7-98　安装夹具

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件”命令，或者在工具条上选择图标，如

图 7-99 所示。单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

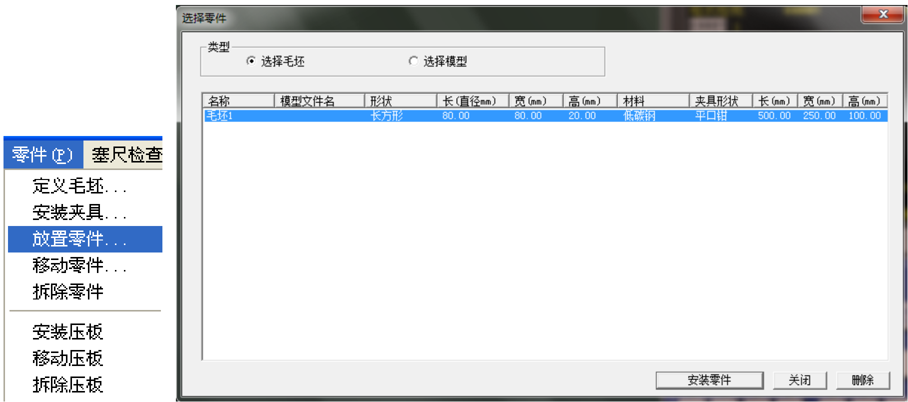


图 7-99　安装零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具...”命令，按条件列出工具清单，选出直径是 63.00、10.00 和 6.00 的立铣刀刀具及直径是 10.00 的钻头，如图 7-100 所示。

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具...”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。



图 7-100　刀具定义及安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好，如图 7-101 所示。



图 7-101　刀具安装

7. 对刀

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具…”命令，如图 7-102 所示。

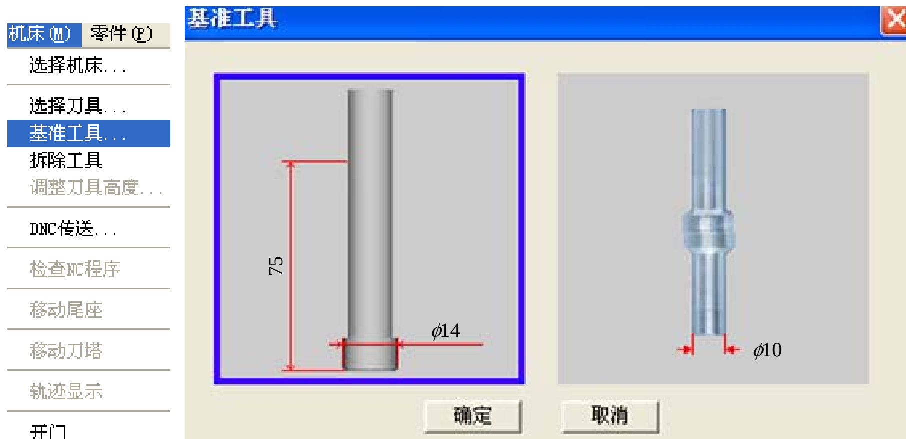


图 7-102　刀具定义及安装

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）单击、、、、、按钮，将机床移动到适当的位置。

3）采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-103 所示。

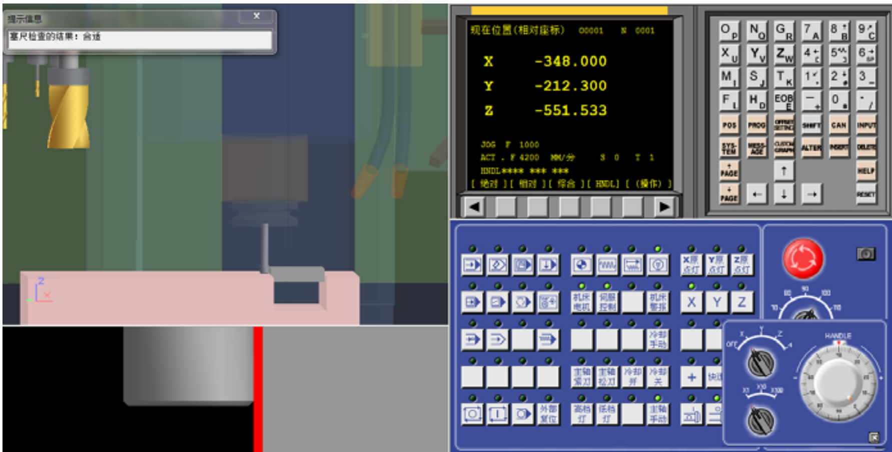


图 7-103　X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中间为工件原点：G54 中的 X=−348+7+1（塞尺宽度）+40=−300，然后进入界面，在 G54 的 X 中输入：−300.000，如图 7-104 所示。

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y=−215.000，如图 7-105 所示。



图 7-104　X 坐标设置



图 7-105　X、Y 坐标设置

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”，将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击+Z按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具...”拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移到适当的位置。用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z-453，如图 7-106 所示。

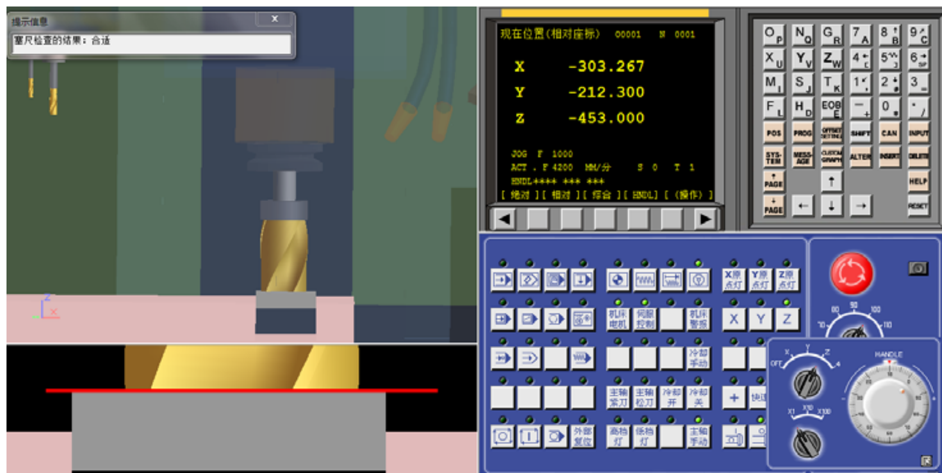


图 7-106　Z 向对刀

真实的 Z 坐标值应该为 Z–453 减去塞尺厚度 1，即为 Z–454。将–454.000 输入 01 号刀具长度补偿，同时可以输入半径补偿 31.5。

用同样的方法完成 2 号刀具、3 号刀具和 4 号刀具 Z 向对刀。同时 2、3 号刀具可以输入半径补偿值 5、3。最终设置情况如图 7-107 所示。



图 7-107　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-108 所示。

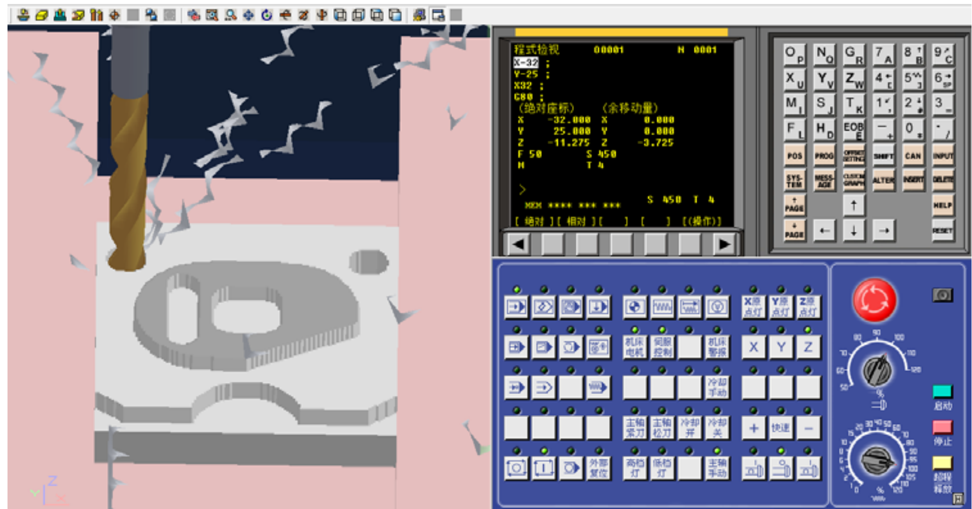


图 7-108　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-109 所示。

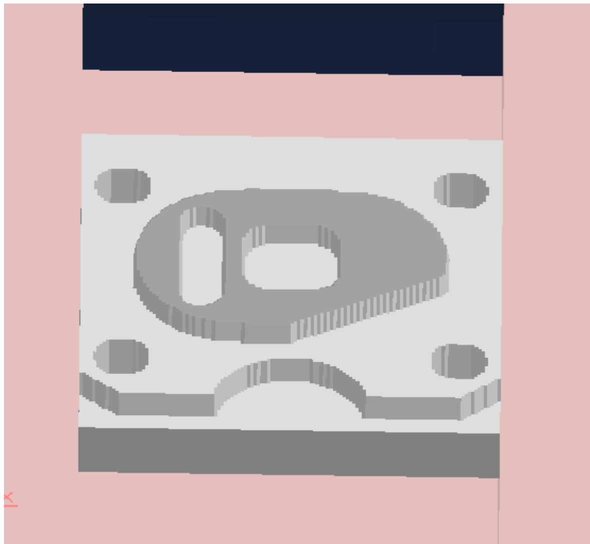


图 7-109　零件加工结果

7.5.7　检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。
2）检查最终的零件形状是否正确。
3）检查操作过程是否规范。
4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量…”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-110 所示。

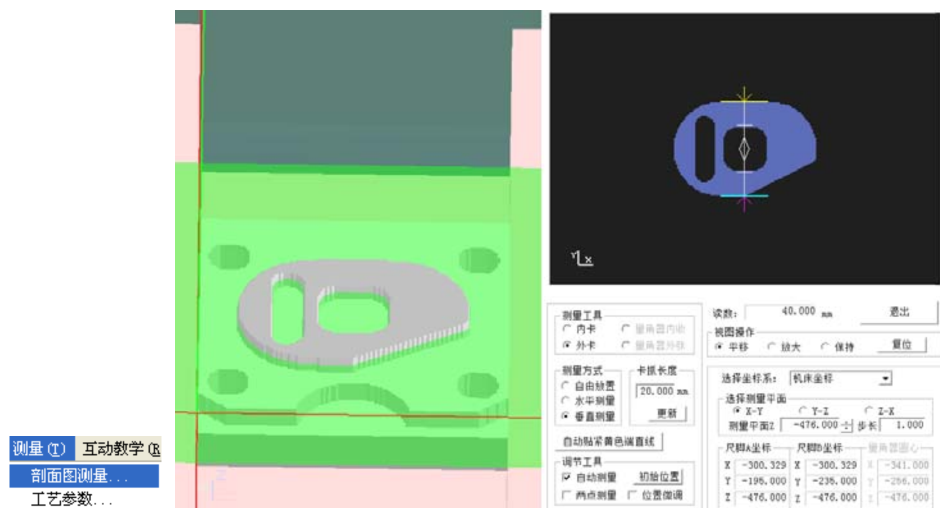


图 7-110　尺寸检查

7.6　应用宏程序的零件数控铣削综合仿真加工

7.6.1　零件图样及信息分析

如图 7-111 所示零件，毛坯是 150mm×120mm×24.5mm 的方坯，材料为 45 钢，切削性能较好。表面质量要求较高，需要经过粗、精加工才能达到零件的加工要求。

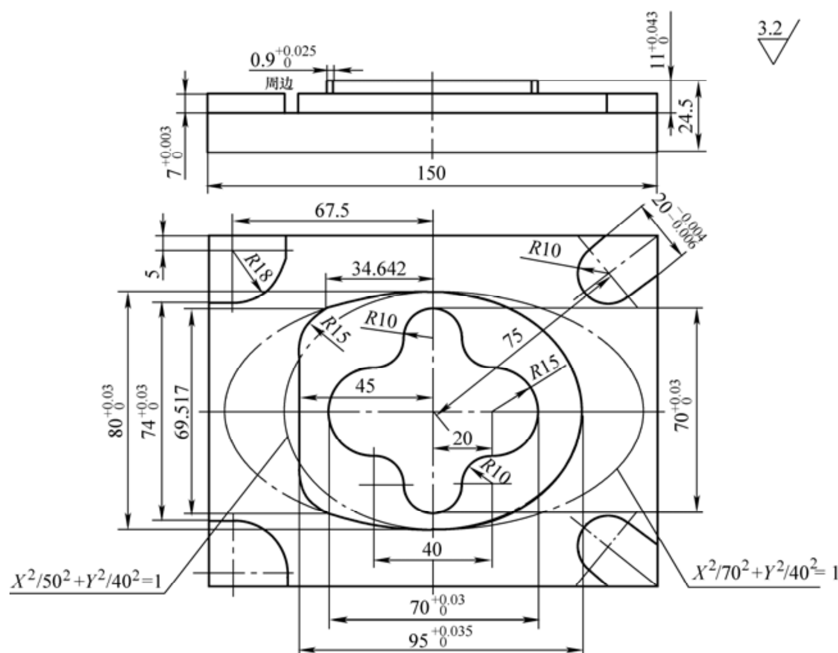


图 7-111　零件图

7.6.2　相关基础知识

1）铣削指令参见本章前几节指令。

2）宏程序指令请参见第 6.8.2 节内容。

7.6.3　加工方法

根据工艺方面知识，应通过垫铁组合保证零件夹持量，并找正，X、Y 向工件原点设置在零件的对称中心，Z 向工件原点设置在零件顶面。加工步骤如下：

1）用 1 号刀具 T01，直径为 15mm，粗铣薄壁外轮廓，去顶面余量，再粗铣薄壁内轮廓，粗铣薄壁内轮廓刀补 D03=−8.9。

2）用 1 号刀具 T01，粗铣四边凸台、去余量，最后粗铣椭圆轮廓，刀补 D01=8。

3）用 2 号刀具 T02，直径为 8mm，精铣薄壁外轮廓，再精铣薄壁内轮廓，刀补 D04=−4.9。

4）用 2 号刀具 T02 精铣四边凸台，最后精铣椭圆轮廓，刀补 D02=4。

说明：薄壁零件加工时，内轮廓与外轮廓用同一个程序，只需要将刀具的刀补值改为负值（等于刀具半径加上薄壁厚度），同时将内轮廓加工程序下刀点的位置修改了即可使用。

7.6.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标，工件坐标系 G54 建立在工件中心的上表面。

以 1 号刀具 T01 加工薄壁外轮廓为例，走刀路线如图 7-112 所示，从 *S* 点出发，先走 1 个方形路线，然后走 4 个圆，最后按照薄壁轮廓加工，其余走刀路线省略。

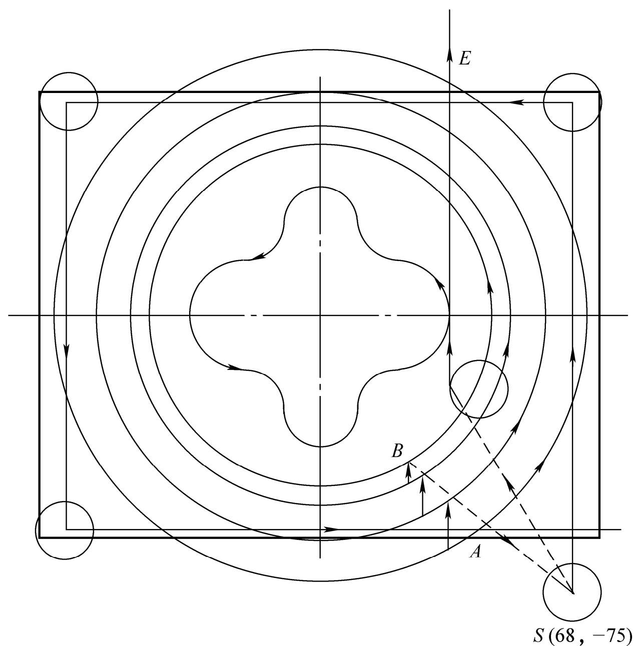


图 7-112　加工薄壁外轮廓走刀路线

7.6.5　零件程序

程序如下：

O0006

G17　G21　G40　G49　G80　G90　G94

G91　G28　Z0

T1　M6　　　　粗加工刀具直径为 15mm，D01=8

G90　G54　G0　X0　Y0　S800　M3

G43　Z20　H1

G0　Z5

X68　Y-75　　　　粗铣薄壁外轮廓

```
G1  Z-4  F100
G1  Y58
X-68
Y-58
X43
G3  I-43  J58
G1  X35  Y-50
G3  I-35  J50
G1  X28  Y-43
G3  I-28  J43
G1  X24  Y-39
G3  I-24  J39
G1  X68  Y-75
G42  G1  X35  Y-20  D01
Y0
G3  X20  Y15  R15
G2  X10  Y25  R10
G3  X-10  Y25  R10
G2  X-20  Y15  R10
G3  X-20  Y-15  R15
G2  X-10  Y-25  R10
G3  X10  Y-25  R10
G2  X20  Y-15  R10
G3  X35  Y0  R15
G40  G0  X68  Y-75
G0  Z5                                  粗铣薄壁内轮廓，刀具直径为 15mm
X0  Y0
G1  Z-4  F30
G42  G1  X20  Y-15  D03  F100           D03=-8.9
G3  X20  Y15  R15
G2  X10  Y25  R10
G3  X-10  Y25  R10
G2  X-20  Y15  R10
G3  X-20  Y-15  R15
G2  X-10  Y-25  R10
G3  X10  Y-25  R10
G2  X20  Y-15  R10
```

```
G3  X35  Y0  R15
G40  G1  X0  Y0
X-5
Y5
G0  Z5
X-80  Y-80                                        粗铣四边凸台
Z-11
G42  X-49.5  Y-70  D01
G1  Y-55  F100
G3  X-67.5  Y-35  R18
G1  X-95
G0  Y37
G1  X-67.5
G3  X-49.5  Y55  R18
G1  Y80
G0  X83.992
G1  X52.318  Y54.66
G3  X64.812  Y39.043  R10
G1  X95  Y63.194
G0  Y-63.194
G1  X64.812  Y-39.043
G3  X52.318  Y-54.66 R10
G1  X71.492  Y-70
G40  G0  X-80  Y-80
G0  X-30
G1  Y-55
X30
Y-80
G0  X85
Y-17
G1  X65
Y22
X70
Y-22
X85
G0  Y80
X30
```

```
G1  Y55
X-30
Y80
G0  X-85
Y17
G1  X-65
Y-17
X-70
Y17
X-85
X-100  Y0                              粗铣椭圆轮廓
#1=7                                   定义深度变量
N10  G1  Z-#1  F100                    Z 向下刀
G41  X-45  Y0  D01                     建立刀补
G1  Y20.4945                           加工直线段
G2  X-34.642  Y34.758  R15             加工圆弧
#2=119.662                             定义椭圆角度起始值
N20  #3=70*COS[#2]                     计算 X 坐标变量
#4=40*SIN[#2]                          计算 Y 坐标变量
G1  X#3  Y#4  F100                     加工椭圆部分
#2=#2-1                                计算加工时椭圆的变化角度
IF[#2GE90]  GOTO20                     椭圆加工循环，判断变量
#5=90                                  定义椭圆角度起始值
N30  #6=50*COS[#5]                     计算 X 坐标变量
#7=40*SIN[#5]                          计算 Y 坐标变量
G1  X#6  Y#7                           加工椭圆部分
#5=#5-1                                计算加工时椭圆的变化角度
IF[#5 GE -90]  GOTO30                  椭圆加工循环，判断变量
#8=-90                                 定义椭圆角度起始值
N40  #9=70*COS[#8]                     计算 X 坐标变量
#10=40*SIN[#8]                         计算 Y 坐标变量
G1  X#9  Y#10                          加工椭圆部分
#8=#8-1                                计算加工时椭圆的变化角度
IF[#8  GE  -119.662]  GOTO40           椭圆加工循环，判断变量
G2  X-45  Y-20.4945  R15               加工圆弧
G1  Y0                                 加工直线
G40  G0  X-100  Y0                     取消刀补
```

```
#1=#1+2                              更新深度
IF[#1LE11]  GOTO10                   深度加工循环，分层铣削，判断变量
G91  G28  Z0
M05                                  返回换刀点
T2  M6                               精加工刀具直径为 8mm，D02=4
S1200  M3
G90  G43  G0  Z20  H2
G0  Z5
X65  Y−80                            精铣薄壁外轮廓
Z−5
G42  G1  X35  Y−20  D02  F60
Y0
G3  X20  Y15  R15
G2  X10  Y25  R10
G3  X−10  Y25  R10
G2  X−20  Y15  R10
G3  X−20  Y−15  R15
G2  X−10  Y−25  R10
G3  X10  Y−25  R10
G2  X20  Y−15  R10
G3  X35  Y0  R15
G40  G0  X65  Y−80
G0  Z5
X0  Y0
G1  Z−4                              精铣薄壁内轮廓，刀具直径为 80mm
G42  G1  X20  Y−15  D04              D04=−4.9
G3  X20  Y15  R15
G2  X10  Y25  R10
G3  X−10  Y25  R10
G2  X−20  Y15  R10
G3  X−20  Y−15  R15
G2  X−10  Y−25  R10
G3  X10  Y−25  R10
G2  X20  Y−15  R10
G3  X35  Y0  R15
G40  G1  X0  Y0
G0  Z5
```

```
X-80  Y-80                                      精铣四边凸台
Z-11
G42  X-49.5  Y-70  D02
G1  Y-55  F60
G3  X-67.5  Y-35  R18
G1  X-90
G0  Y37
G1  X-67.5
G3  X-49.5  Y55  R18
G1  Y70
G0  X71.492
G1  X59  Y60
G1  X52.318  Y54.66
G3  X64.812  Y39.043  R10
G1  X85  Y55.194
G0  Y-55.194
G1  X64.812  Y-39.043
G3  X52.318  Y-54.66  R10
G1  X71.492  Y-70
G40  G0  X-80  Y-80
Z5
X-100  Y0
G1  Z-11  F60                                   精铣椭圆轮廓
G41  X-45  Y0  D02;                             D02=4
G1  Y20.4945
G2  X-34.642  Y34.758  R15
#2=119.662
N50  #3=70*COS[#2]
#4=40*SIN[#2]
G1  X#3  Y#4  F100
#2=#2-1
IF[#2GE90]  GOTO50
#5=90
N60#6=50*COS[#5]
#7=40*SIN[#5]
G1X#6Y#7
#5=#5-1
```

```
IF[#5GE-90]  GOTO60
#8=-90
N70#9=70*COS[#8]
#10=40*SIN[#8]
G1  X#9  Y#10
#8=#8-1
IF[#8  GE  -119.662]  GOTO70
G2  X-45  Y-20.4945  R15
G1  Y0
G40  G0  X-100  Y0
G49  G0  Z0
M30
```

7.6.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床...”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-113 所示。



图 7-113　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0006”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-114 所示。

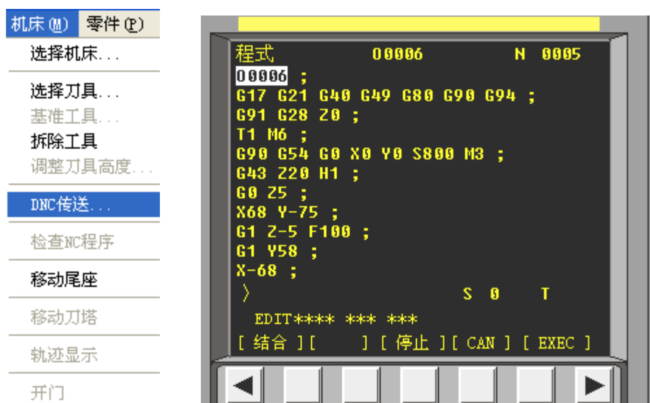


图 7-114 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-115 所示，定义好毛坯。



图 7-115　定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具...”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-116 所示。

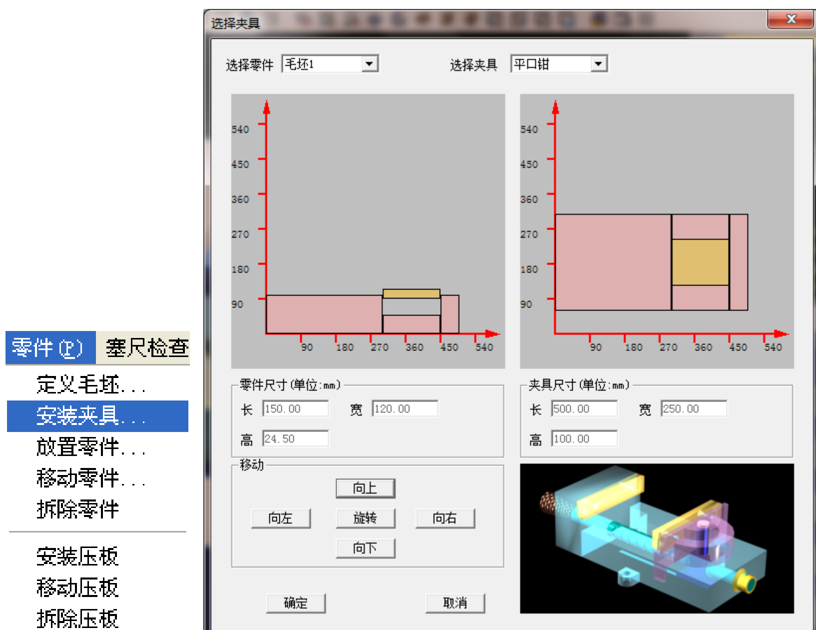


图 7-116　安装夹具

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件”命令，或者在工具条上选择图标，如图 7-117 所示。单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

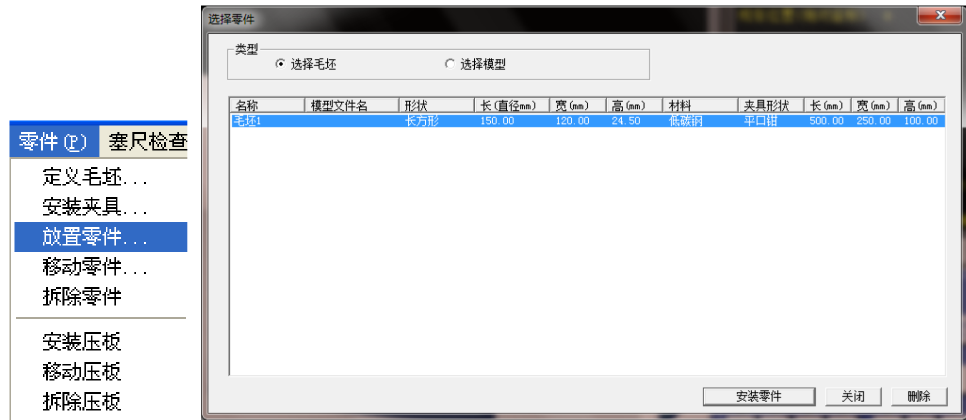


图 7-117　安装零件

6. 刀具的选择及安装

单击菜单“机床”→“选择刀具...”命令，按条件列出工具清单，选出直径是 15.00 和 8.00 的平底刀具，如图 7-118 所示。

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具...”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。



图 7-118　刀具定义及安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按PROG键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好，如图 7-119 所示。



图 7-119　刀具安装

7. **对刀**

这里应用刚性靠棒检查塞尺松紧的方式对刀，单击菜单“机床”→“基准工具…”命令，如图 7-120 所示。

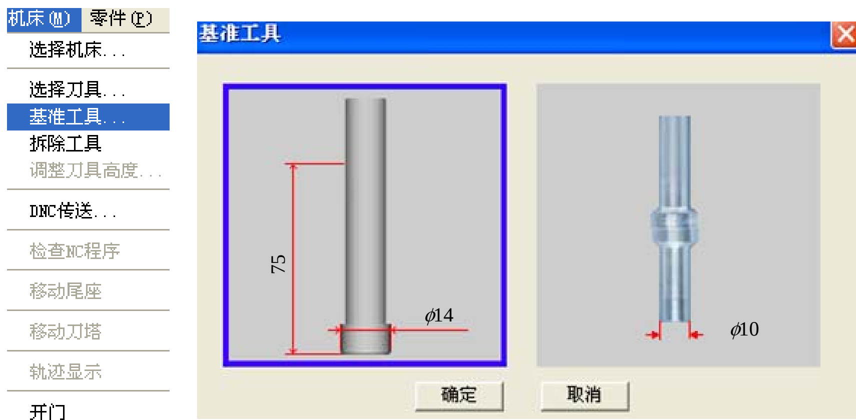


图 7-120　刀具定义及安装

（1）X 轴方向对刀

1）单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）单击+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移动到适当的位置。

3）采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，基准工具和零件之间被插入塞尺，紧贴零件的红色物件为塞尺。

4）单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒，使得

提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7-121 所示。

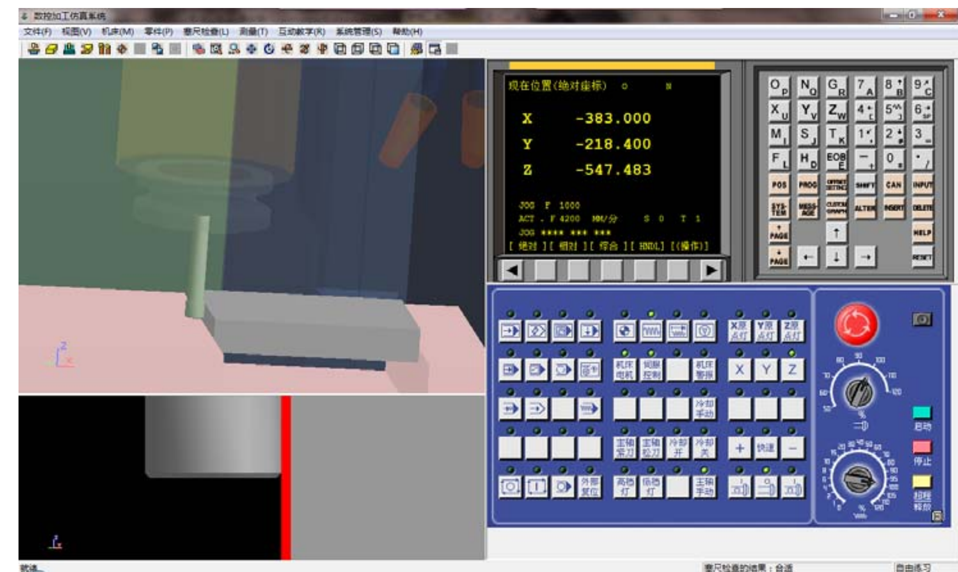


图 7-121　X 向对刀

5）记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 X 坐标值，毛坯上表面中间为工件原点：G54 中的 X=–383+7+1（塞尺宽度）+75=–300，然后进入 OFFSET SETTING 界面，在 G54 的 X 中输入：–300.000，如图 7-122 所示。

（2）Y 方向对刀

采用同样的方法得到工件中心的 Y 坐标，记为 Y=–215.000，如图 7-123 所示。



图 7-122　X 坐标设置



图 7-123　X、Y 坐标设置

完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查”→“收回塞尺”，将塞尺收回，单击手动按钮，手动灯亮，机床转入手动操作状态，单击按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床”→“拆除工具…”，拆除基准工具。

（3）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，利用操作面板上的+X、+Y、+Z、-X、-Y、-Z按钮，将机床移到适当的位置。用在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z−523.5，如图 7−124 所示。

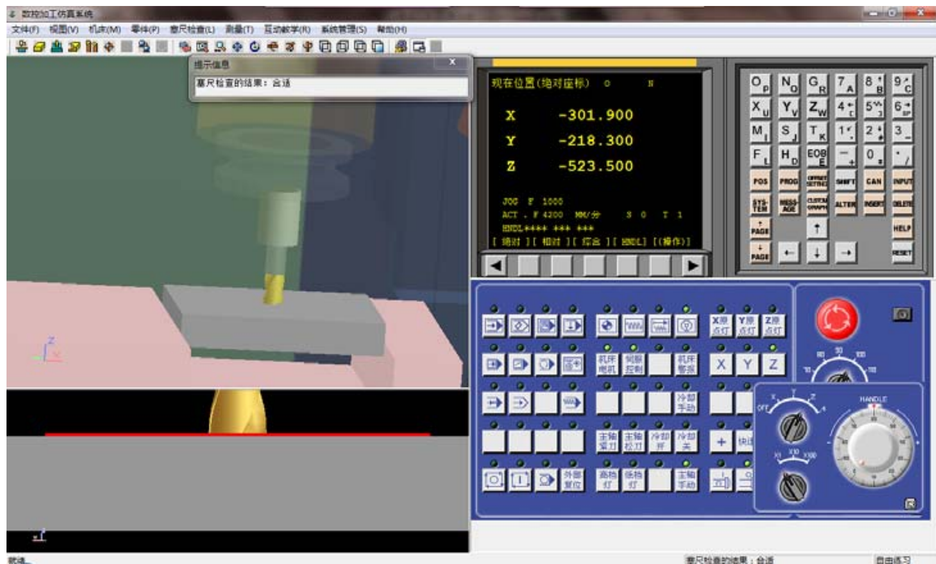


图 7−124　Z 向对刀

真实的 Z 坐标值应该为 Z−523.5 减去塞尺厚度 1，即为 Z−524.5，将−524.500 输入 01 号刀具长度补偿，同时可以输入半径补偿 7.5。

用同样的方法完成 2 号刀具方向 Z 向对刀，同时可以输入半径补偿值 4。设置好薄壁内轮廓加工时需要使用的半径补偿，D03=−8.9、D04=−4.9。最终设置情况如图 7−125 所示。



图 7−125　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-126 所示。

图 7-126 自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-127 所示。

图 7-127 零件加工结果

7.6.7　检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-128 所示。

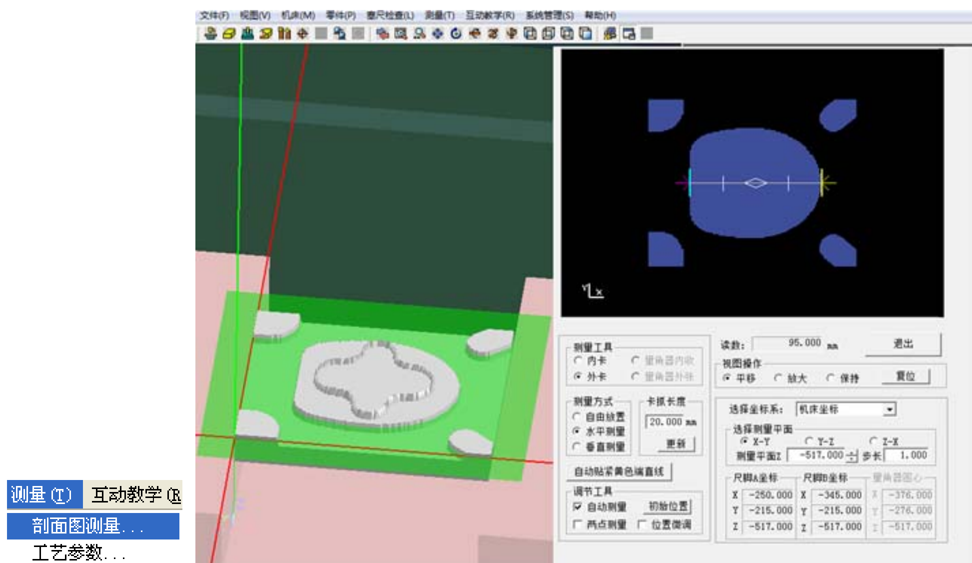


图 7-128　尺寸检查

7.7　零件自动编程的数控铣削仿真加工

7.7.1　零件图样及信息分析

如图 7-129 所示零件，该零件是一摩擦圆盘的压铸模，零件由一个球面型腔

和五个凸台组成。毛坯是直径为 140mm、高度为 40mm 的圆柱体，材料为 45 钢，切削性能较好，表面粗糙度值为 *Ra*3.2μm，要求较高。

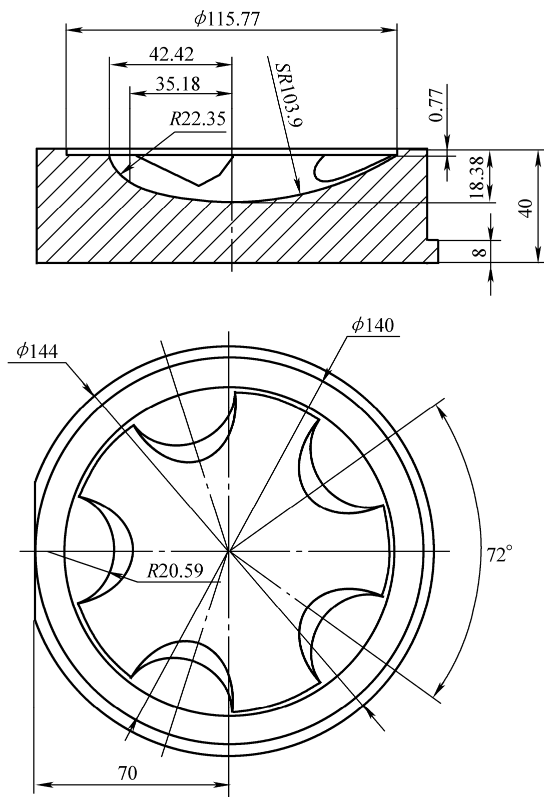


图 7-129　零件图

从形状分析，无法用手工编程，需要采用自动编程软件进行刀具轨迹及程序的生成。在这里采用 UG 软件完成曲面的零件铣削加工，并生成数控加工程序。加工后的零件三维模型如图 7-130 所示。

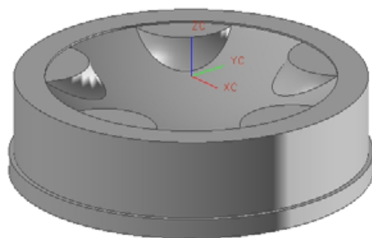


图 7-130　零件三维模型

7.7.2　相关基础知识

1. UG **固定轴铣削加工简介**

固定轴铣削的意思是指刀轴固定不动。三维固定轴铣削加工主要应用于腔体、型面以及自由曲面的三坐标联动加工，同时也可用于两轴、两轴半的加工。

定轴铣主要包括型腔铣、轮廓铣以及清根加工等加工类型，这些类型还可以进一步细化，产生多种铣削方式。

型腔铣是指利用实体、曲面或者曲线来定义加工区域，主要用来加工带有斜度、曲面的轮廓外壁以及内腔壁，常用于粗加工。这种加工类型采用的是两轴联动的加工方式，因此其铣削是分层进行的，加工后表面呈台阶状。由于同一个加工表面其倾斜程度不同，为了使粗加工后余量均匀，在分层时每一层的厚度不能一成不变，应该根据加工表面的倾斜程度将之划分为若干个区域，每一区域定义不同的分层厚度，其原则是壁越陡，每一层深度越大。

轮廓铣是三坐标联动加工，常用于半精加工和精加工，主要用来加工自由曲面等特征，比如模具等。

2．零件 UG 加工

（1）加工前准备工作

创建零件和毛坯的三维模型，注意除没有凹腔外，毛坯外形与零件一致，而且毛坯要与零件重合，如图 7-131 所示。选择主菜单“应用”→“加工”，打开加工环境初始化对话框，在“CAM 进程配置”选项中选择“cam general”，在“CAM 设置”中选择“mill_counter”，单击“初始化”按钮，进入加工环境。

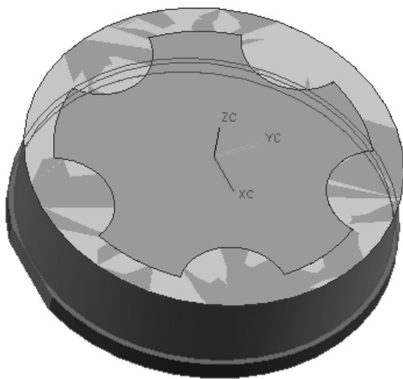


图 7-131　圆盘零件和毛坯

（2）创建刀具组

按照前面所述的方法创建加工所需要的ϕ20 的立铣刀、ϕ8 的球头铣刀、ϕ6 的球头铣刀以及ϕ3 的球头铣刀，其刀具号分别编为 1、2、3、4。创建好的刀具在操作导航器中可以进行查询与编辑，如图 7-132 所示。

（3）创建加工方法

由该零件的加工工艺方案可知，在加工该零件时需要用到三种铣削加工方法，可按前面所述的步骤分别创建以下三种铣削方法：

方法一：名称为 CJG（粗加工），余量为 0.8，进给速度为 200，用于第一道工序。

方法二：名称为 BJJG（半精加工），余量为 0.3，进给速度为 150，用于第二道工序。

方法三：名称为 JJG（精加工），余量为 0，进给速度为 120，用于第三、第四道工序。

加工方法创建完成后可以在操作导航器中进行查询编辑，如图 7-133 所示。



图 7-132 刀具视图



图 7-133 加工方法视图

（4）创建几何体

1）选择主菜单“插入”→“几何体”，或者单击加工生成工具条上的图标，在弹出的“创建几何体”对话框中按图 7-134 所示选择类型和子类型，输入“名称”为“ZBX”，单击“确定”按钮，在弹出的对话框中设置工件坐标系原点在工件上表面的中心处，同时设置安全平面为工件上表面 20mm 处。

2）重复步骤 1），打开“创建几何体”对话框，按图 7-135 进行如下设置：



图 7-134 创建坐标系



图 7-135 创建毛坯和零件

① 选择“类型”为“mill_contour”（轮廓铣削）。

② 选择“子类型”为第五个图标。

③ 选择“父级组”为刚才创建好的坐标系“ZBX”。

④ 输入“名称”为“GONGJIAN”。

设置完成后单击“确定”按钮，弹出图 7-136 所示的“WORKPIECE”对话框，在该对话框的几何体选项中选择第二个图标，用来定义毛坯，然后再单击其下方的“选择”按钮，弹出图 7-137 所示的“毛坯几何体”对话框，然后选择所创建的零件毛坯，单击“确定”按钮，回到图 7-136 的“WOEKPIECE”对话框，然后将毛坯隐藏。再选择第一个图标来定义零件几何体，选择其下的“选择”按钮，弹出对话框后选择创建的零件，单击“确定”按钮，完成设置。



图 7-136 “WORKPIECE”对话框

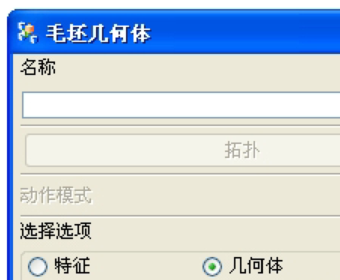


图 7-137 “毛坯几何体”对话框

（5）创建粗加工操作

1）选择主菜单“插入”→“操作”，或者单击加工生成工具条上的图标，出现图 7-138 所示的“创建操作”对话框，按图中所示设置参数：

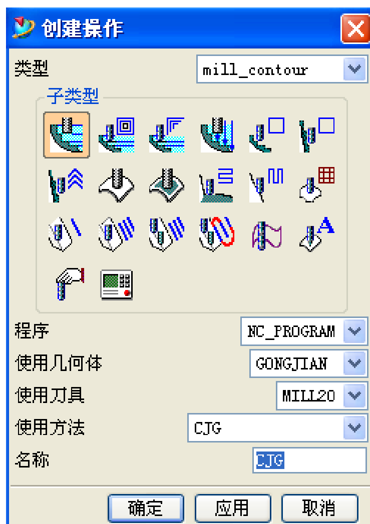


图 7-138 “创建操作”对话框

① 选择“类型”为“mill_contour”（轮廓铣削）。

② “子类型”为第一行第一个图标‘CAVITY_MILL’。

③ “程序”为“NC_PROGRAM”。

④ “使用几何体”为“GONGJIAN”。

⑤ “使用刀具”为“MILL20”。

⑥ “使用方法”为“CJG”。

⑦ “名称”为“CJG”。

2）设置完成后，单击“确定”按钮，将弹出图 7-139 所示的“CAVITY_MILL”对话框，按图中所示选择切削方式和步进，然后进行以下操作：



图 7-139　“CAVITY_MILL”对话框

① 设置切削层参数。单击对话框中的“切削层”按钮，弹出图 7-140 所示的“切削层”对话框，在此对话框中默认的深度范围为 40.00，每一刀的深度为 2mm。首先选择修改范围的图标，在“范围深度”选项中输入“18.3800”，表示最终加工到 18.3800mm 深的部位，并且将“每一刀的深度”改为“1.0000”，单击回车键完成设置。

由于所加工的凹腔上部分陡峭，下部分平缓，为了保证粗加工余量的均匀，在陡峭的部位每一刀的深度可以选择大一些，平缓的部位则应选择较小。因此还要将 0～18.38 这个切削范围分为两部分。其方法是如图 7-141 所示选择增加范围的图标，在“范围深度”选项中输入“13.0000”，将“每一刀的深度”改为“2.0000”，单击键盘上的回车键，然后再单击“确定”按钮。



图 7-140　修改范围

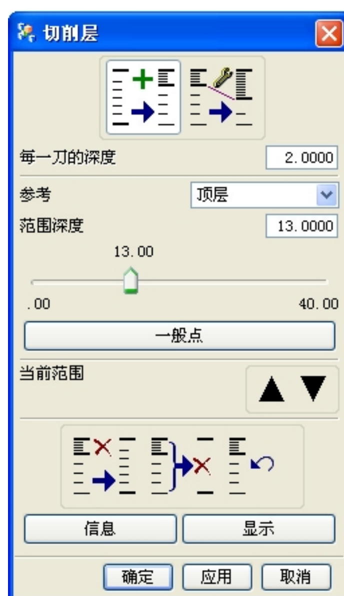


图 7-141　增加范围

设置完成后可以将零件用线框显示，并转换到正视图，可以看到所设置的切削层深度，如图 7-142 所示。

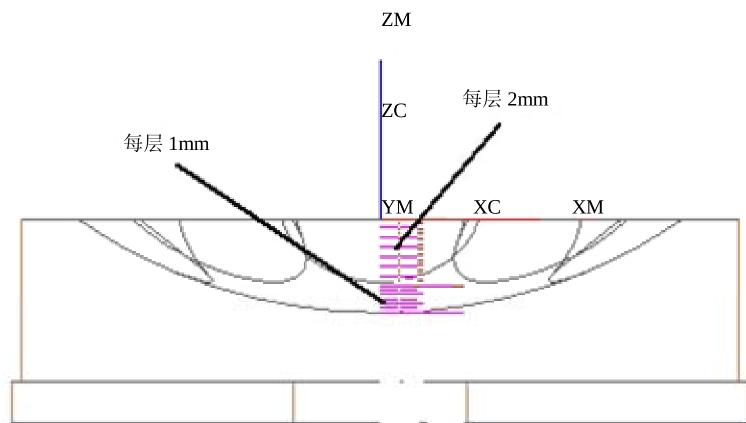


图 7-142　显示切削层

② 设置进刀/退刀参数。单击图 7-139 所示的“CAVITY_MILL”对话框中的“自动”按钮，弹出图 7-143 所示的“自动进刀/退刀”对话框，按图中所示进行设置，单击“确定”按钮，完成设置。



图 7-143　修改范围

3）设置切削参数。单击图 7-139 所示的“CAVITY_MILL”对话框中的“切削”按钮，弹出图 7-144 所示的“切削参数”对话框，将其切削方向改为逆铣切削，单击“确定”按钮完成设置。

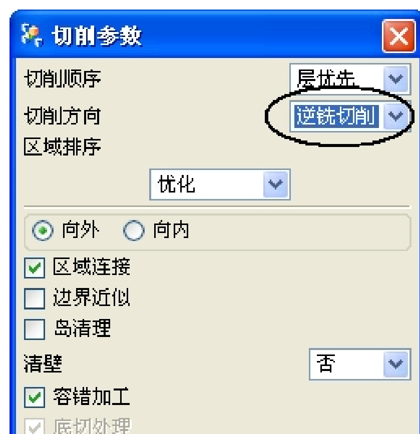
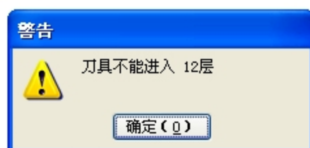


图 7-144　增加范围

4）设置主轴转速及开切削液。按照前面所述方法选择图 7-139 所示的“CAVITY_MILL”对话框中的“进给率”按钮，在弹出的对话框中设置机床转速为 800r/min，选择“机床”按钮，设置机床启动时开切削液。完成设置后，生成刀具轨迹，系统会弹出图 7-145 所示“警告”对话框，可不用理会，单击“确定”按钮即可，生成的刀具轨迹如图 7-146 所示。



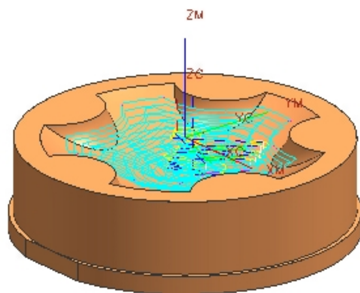


图 7-145　“警告”对话框　　图 7-146　生成刀具轨迹

其仿真加工过程如图 7-147 所示。

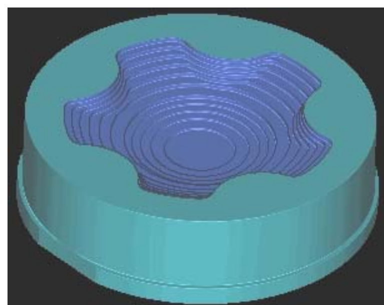


图 7-147　加工过程仿真

（6）创建半精加工操作

半精加工操作按以下步骤创建：

1）选择创建操作命令，打开“创建操作”对话框，如图 7-148 所示。按图中设置相关的参数和操作名称，注意“子类型”选择第二行第二个图标（FIXEDCONTOUR），单击“确定”按钮，打开图 7-149 所示的“FIXED_CONTOUR”对话框。



图 7-148　“创建操作”对话框



图 7-149　“FIXED_CONTOUR”对话框

2）单击图 7-149 所示对话框上的“驱动方式”下拉菜单，选择其中的“边界”，弹出图 7-150 所示的“边界驱动方式”对话框。

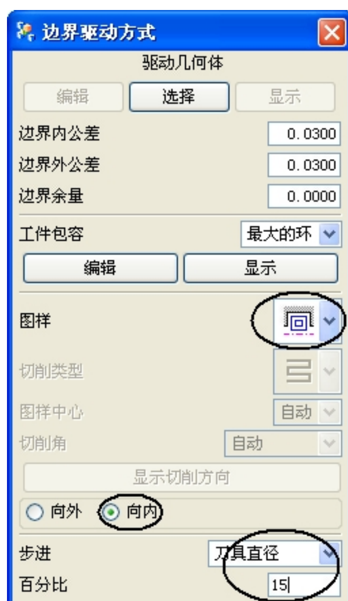


图 7-150 “边界驱动方式”对话框

在该对话框中按图 7-150 所示设置参数，选择图样切削方式为（跟随周边），切削方向为从内向外，步进为刀具直径的 15%；单击“驱动几何体”下的“选择”按钮，弹出图 7-151 所示的“边界几何体”对话框。在该对话框的“模式”选项下选择“曲线/边…”，弹出相应对话框后选择图 7-152 所示的零件边界，单击“确定”按钮，回到图 7-151 所示的对话框；再单击“确定”按钮，回到 7-150 所示的对话框；再单击“确定”按钮，回到图 7-149 所示的对话框。

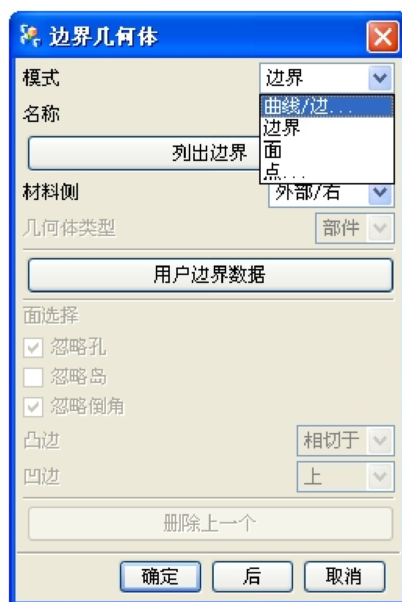


图 7-151 “边界几何体”对话框

3）在图 7-149 所示对话框中设置主轴转速为 1500r/min，设置机床启动时打开切削液，生成刀具轨迹如图 7-153。验证后单击“确定”按钮，完成本工序的操

作设置。可按前述方法进行加工过程的仿真，这里不再赘述。

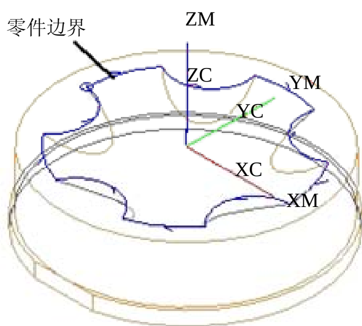


图 7-152　选择边界

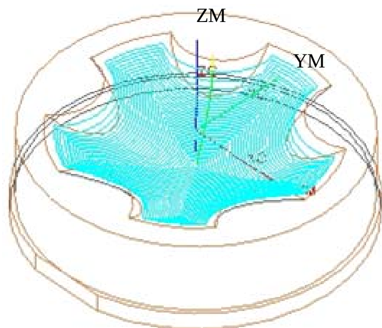


图 7-153　生成刀具轨迹

（7）创建精加工操作

1）选择创建操作命令，打开“创建操作”对话框，如图 7-154 所示，按图中设置相关的参数和操作名称，“子类型”选择第二行第二个图标（FIXED CONTOUR），单击“确定”按钮，打开图 7-155 所示的“FIXED_CONTOUR”对话框。

2）单击图 7-155 所示对话框上的“驱动方式”的下拉菜单，选择其中的“区域铣削”，将弹出图 7-156 所示的询问对话框，直接单击“确定”按钮，出现图 7-157 所示的“区域铣削驱动方式”对话框。



图 7-154　“创建操作”对话框



图 7-155　“FIXED_CONTOUR”对话框

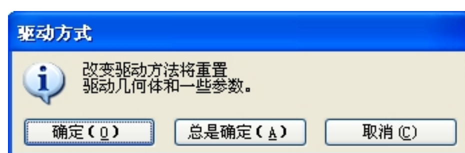


图 7-156 询问对话框

3）在图 7-157 所示的对话框中按图中所示进行设置，选择“图样”（即切削方式）为 。

切削方向为从外向内，步进为刀具直径的 10%，且是在部件上，单击“确定”按钮，回到图 7-158 所示的“FIXED_CONTOUR”对话框。将它与图 7-155 所示对话框做对比，会发现在“几何体”选项下多出了两个图标。



图 7-157 “区域铣削驱动方式”对话框

4）选择图 7-158 所示对话框中的 ，再单击其下方的“选择”按钮，将弹出图 7-159 所示的“切削区域”对话框，再用鼠标选择图 7-160 所示的凹球面和凸台侧面来定义切削区域，单击“确定”按钮，回到图 7-158 所示对话框。在该对话框中设置主轴转速为 2000r/min，设置机床启动时打开切削液，生成刀具轨迹如图 7-161。验证后单击“确定”按钮，完成本工序的操作设置。



图 7-158 “FIXED_CONTOUR”对话框

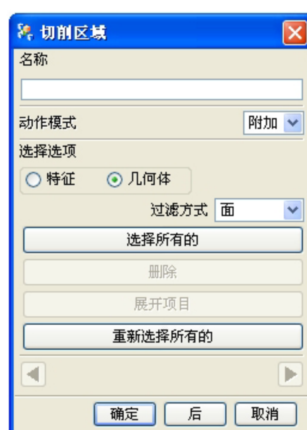


图 7-159 “切削区域”对话框

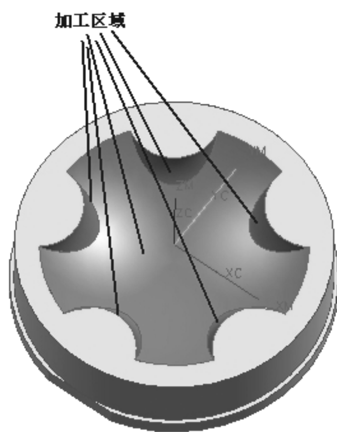


图 7-160　选择零件表面

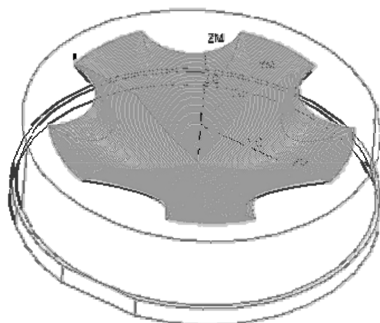


图 7-161　生成刀具轨迹

（8）创建清根加工操作

1）选择创建操作命令，打开“创建操作”对话框，如图 7-162 所示，按图中设置相关的参数和操作名称，“子类型”选择第二行第二个图标（FIXED CONTOUR），单击“确定”按钮，打开图 7-163 所示的“FIXED_CONTOUR”对话框。



图 7-162　“创建操作”对话框

2）单击图 7-163 所示对话框的“驱动方式”下拉菜单，选择其中的“Flow Cut”，弹出图 7-164 所示的提示对话框，直接单击“确定”按钮，出现图 7-165 所示的“Flow Cut”对话框。在该对话框中按图中所示进行设置，单击“确定”按钮，弹出图 7-166 所示的对话框，该对话框与图 7-163 所示的相比，在“几何体”选项下多出了两个图标。

3）选择图 7-166 所示对话框中的，再单击其下方的“选择”按钮，弹出图 7-159 所示的“切削区域”对话框，再用鼠标选择图 7-167 所示凸台侧面来定义清根切削区域，单击“确定”按钮，回到图 7-166 所示对话框。在该对话框中设置主轴转速为 3000r/min，设置机床启动时打开切削液，生成刀具轨迹如图 7-168。验证后单击“确定”按钮，完成本工序的操作设置。



图 7-163 “FIXED_CONTOUR”对话框

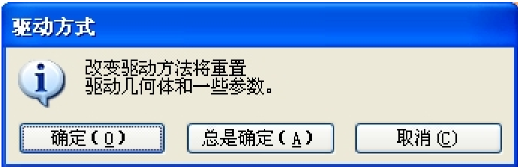


图 7-164 提示对话框

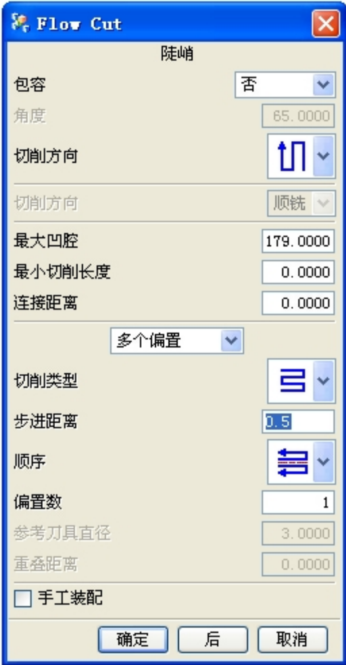




图 7-165 “Flow Cut”对话框　　图 7-166 “FIXED_CONTOUR”对话框

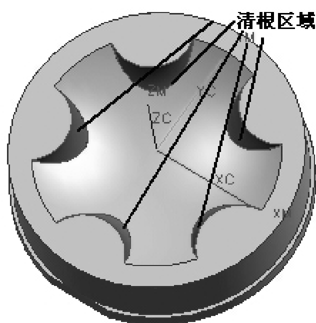


图 7−167　选择清根区域

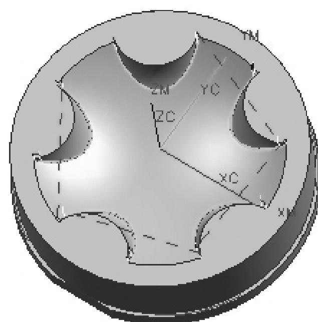


图 7−168　生成刀具轨迹

7.7.3　加工方法

该零件的曲面加工应使用三轴联动加工：

1）先铣削零件浅平面，再采用机床三轴联动粗铣、半精铣、精铣、清根完成零件的加工。

2）采用粗铣、半精铣、精铣完成零件的加工，深度方向分层铣削，分多次完成。

7.7.4　走刀路线

编写零件加工程序，必须先确定走刀路线，计算出编程需要的坐标，工件坐标系 G54 建立在工件中心的上表面。走刀路线有以下几步：

1）铣削该零件浅平面的加工走刀路线如图 7−169 所示，从 O 点出发，采用ϕ20 立铣刀加工出深度为 0.77mm 的浅平面。

2）粗铣零件的曲面型腔加工走刀路线如图 7−170 所示，从 O 点出发，采用ϕ8 球头铣刀分层铣削加工曲面。

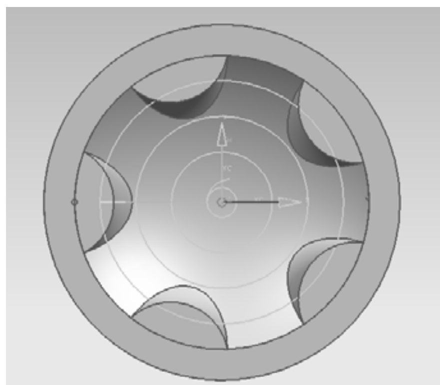


图 7−169　浅平面加工走刀路线

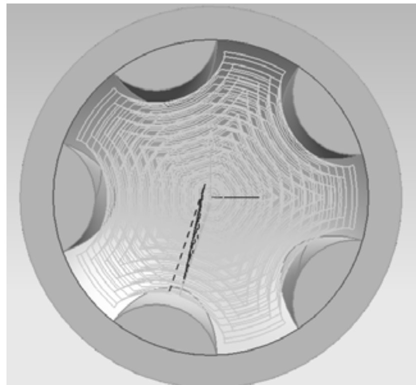


图 7−170　粗铣零件曲面型腔的加工走刀路线

3）半精铣零件的曲面型腔加工走刀路线如图 7−171 所示，从 O 点出发，采用ϕ8 球头铣刀铣削加工曲面。

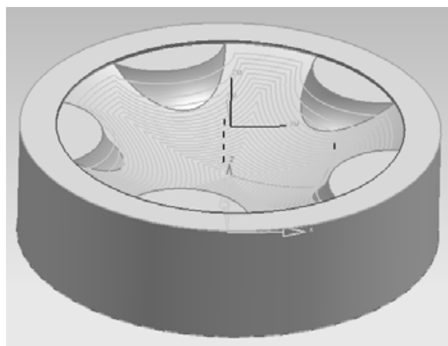


图 7−171　半精铣零件曲面型腔的加工走刀路线

4）精铣零件的曲面型腔加工走刀路线如图 7−172 所示，从 O 点出发，采用ϕ6 球头铣刀铣削加工出曲面。

5）采用ϕ3 球头铣刀对零件的曲面型腔进行清根，其加工走刀路线如图 7−173 所示。

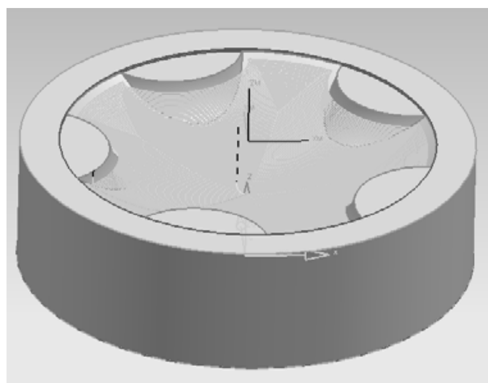


图 7−172　精铣零件曲面型腔的加工走刀路线

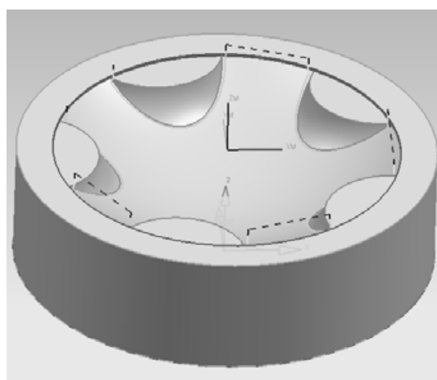


图 7−173　曲面型腔清根的加工走刀路线

7.7.5　零件程序

程序如下：

```
O0007
N0010   G17   G21   G40   G49   G69   G80   G90   G94
N0020   G91   G28   Z0.0
N0030   T01   M06                                   加工浅平面
```

```
N0040  T02
N0050  G54  G0  X0  Y0
N0060  G0  G90  X3.06  Y9.  S800  M03
N0070  G43  Z5.  H01
N0080  Z3.
N0090  G1  X1.308  Y8.845  Z2.529  F100.  M08
N0100  X−.375  Y8.323  Z2.058
……
N0230  G3  I47.873
N0240  G1  X−37.873
N0250  Z2.23
N0260  G0  Z5.
N0270  G91  G28  Z0.0
N0275  M05
N0280  T02  M06;                                粗铣零件的曲面型腔
N0290  T03
N0300  G90  G54  G0  X0  Y0
N0310  G0  X−1.965  Y3.06  S800  M03
N0320  G43  Z5.  H02
N0330  Z3.
N0340  G1  X−1.231  Y4.092  Z2.66  F200.
N0350  X−.166  Y4.786  Z2.321
……
N9010  G2  I2.155  J6.674
N9020  G1  X−3.384  Y−10.48
N9030  G2  I3.384  J10.48
N9040  G1  X−2.155  Y−6.674
N9050  Z−13.966
N9060  G0  Z5.                                  半精铣零件的曲面型腔
N9070  G0  X33.271  Y−19.252  S1500  M03
N9080  Z1.8
N9090  G1  Z.822  F150.
N9100  X33.218  Y−19.333  Z−.068
N9110  X33.057  Y−19.578  Z−.915
……
N4980  X−2.334  Y−3.248  Z−14.079
```

```
N4990  G0  Z5.
N5000  G91  G28  Z0.0
N5005  M05
N5010  T03  M06                                  精铣零件的曲面型腔
N5020  T04
N5030  G90  G54  G0  X0  Y0
N5040  G0  X−49.3  Y−24.663  S2000  M03
N5050  G43  Z5.  H03
N5060  Z2.6
N5070  G1  Z.955  F120.
N5080  X−49.339  Y−24.57  Z.178
N5090  X−49.456  Y−24.296  Z−.546
……
N1670  X−2.957  Y.243  Z−16.177
N1680  X−3.065  Y.255  Z−15.401
N1690  G0  Z−14.2
N1700  Z5.
N1710  G91  G28  Z0.0
N1715  M05
N1720  T04  M06                                  对零件曲面型腔进行清根
N1730  T01
N1740  G90  G54  G0  X0  Y0
N1750  G0  X−52.062  Y20.284  S3000  M03
N1760  G43  Z5.  H04
N1770  Z2.6
N1780  G1  Z.882  F120.
N1790  X−52.528  Y20.423  Z−1.468
N1800  X−51.873  Y20.228  Z−1.917
……
N5650  X−34.88  Y44.627  Z.616
N5660  X−35.016  Y44.452  Z1.157
N5670  G0  Z3.2
N5680  Z5.
N5690  G49  G0  Z0
N5700  M30
```

7.7.6　仿真加工

1. 选择机床

单击菜单“零件”→“选择机床...”，选择北京第一机床厂的 XKA714/B 数控立式加工中心，控制系统为 FANUC 0i 系统，如图 7-174 所示。



图 7-174　选择机床

2. 开机

单击启动按钮，此时机床电动机和伺服控制的指示灯变亮。

检查急停按钮是否松开至状态，若未松开，单击急停按钮，将其松开。

3. 回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击回原点按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 轴选择按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯变亮。

4. 程序输入

在操作面板上按下编辑键，然后再按面板上的键，进入程序编辑界面，直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

采用通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，按照下面

的方法调入程序：

单击操作面板上的编辑键，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，CRT 界面转入编辑页面。再按菜单软键[操作]，在出现的下级子菜单中按软键，按菜单软键[READ]，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0007”，按软键[EXEC]；单击菜单“机床”→“DNC 传送...”，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，单击“打开”按钮，则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上，如图 7-175 所示。



图 7-175 程序调入

5. 定义毛坯及装夹

（1）定义毛坯

单击菜单“零件”→“定义毛坯...”，或者在工具条上选择，如图 7-176 所示，定义好毛坯。



图 7-176 定义毛坯

（2）安装夹具

单击菜单“零件”→“安装夹具…”命令，或者在工具条上选择图标，打开操作对话框。

首先在“选择零件”列表框中选择“毛坯 1”，然后在“选择夹具”列表框中选择“平口钳”，如图 7-177 所示。

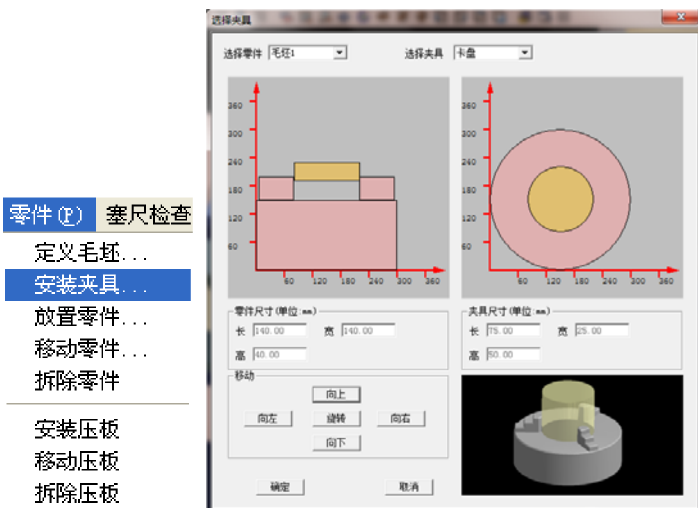


图 7-177　安装夹具

（3）放置零件

单击菜单“零件”→“放置零件”命令，或者在工具条上选择图标，如图 7-178 所示。单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。

6. 刀具的选择及安装

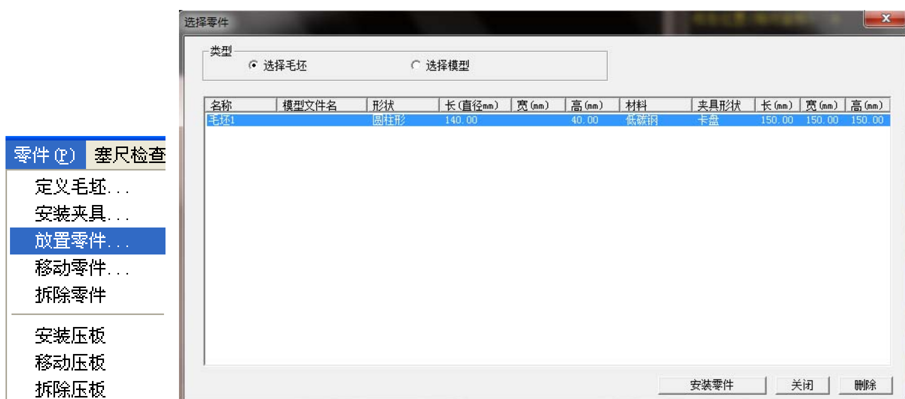


图 7-178　安装零件

单击菜单“机床”→“选择刀具…”命令，按条件列出工具清单，选出直径是 20.00 立铣刀刀具、8.00 球头铣刀、6.00 球头铣刀和 3.00 球头铣刀，如图 7-179 所示。

立式加工中心装刀有两种方法：一是选择菜单“机床”→“选择刀具…”，在“选择铣刀”对话框内将刀具添加到主轴；二是用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上。



图 7-179　刀具定义及安装

用 MDI 指令方式将刀架上的刀具放置在主轴上，步骤如下：

1）将操作面板上的模式旋钮置于 MDI 挡，按键，进入 MDI 编辑模式。

2）按键，使 CRT 界面显示 MDI 编辑界面。

3）单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“G28 Z0”，告知机床通过某点回换刀点，此时单击按钮，机床运行到换刀点。

4）单击 MDI 键盘，输入“M06 Tx”，此时单击按钮，刀架旋转后将指定刀位的刀具装好，如图 7-180 所示。



图 7-180　刀具安装

7. 对刀

因为该零件毛坯为圆柱形棒料，只有采用杠杆百分表打表找正工件。

（1）X 轴和 Y 轴方向对刀

杠杆百分表的对刀精度较高，但是这种操作方法比较麻烦，效率较低，适用

于精加工孔（面）对刀。对刀方法为

1）用磁性表座将杠杆百分表吸在加工中心主轴上，单击操作面板的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。

2）单击、、、、、按钮，将机床移动到适当的位置；也可以采用手轮调节方式移动机床，使表头靠近圆柱面，当表头旋转一周时，其指针的跳动量在允许的对刀误差内，如 0.02，此时可认为主轴的旋转中心与被加工零件中心重合，得到工件中心的 X、Y 坐标值，记下 CRT 界面中的 X、Y 坐标值 X=–300.000，Y=–215.000，如图 7–181 所示。

3）然后进入界面，在 G54 的 X 中输入“–300.000”，Y 中输入“–215.000”，如图 7–182 所示。



图 7–181　X、Y 向对刀



图 7–182　X、Y 坐标设置

4）完成 X、Y 方向对刀后，取下杠杆百分表，主轴上安装好实际加工所需要使用的刀具。

（2）塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时，需采用实际加工的刀具进行对刀，选择需要对刀的刀具安装到主轴。装好刀具后，单击操作面板中的手动按钮，手动状态灯亮，进入手动方式。单击、、、、、按钮，将机床移动到适当的位置；也可以采用手轮调节方式移动机床，单击菜单“塞尺检查”→“1mm”，刀具和零件之间插入塞尺。紧贴零件的红色物件为塞尺。单击操作面板上的手动脉冲按钮，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 Z 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动刀具，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 7–183 所示。

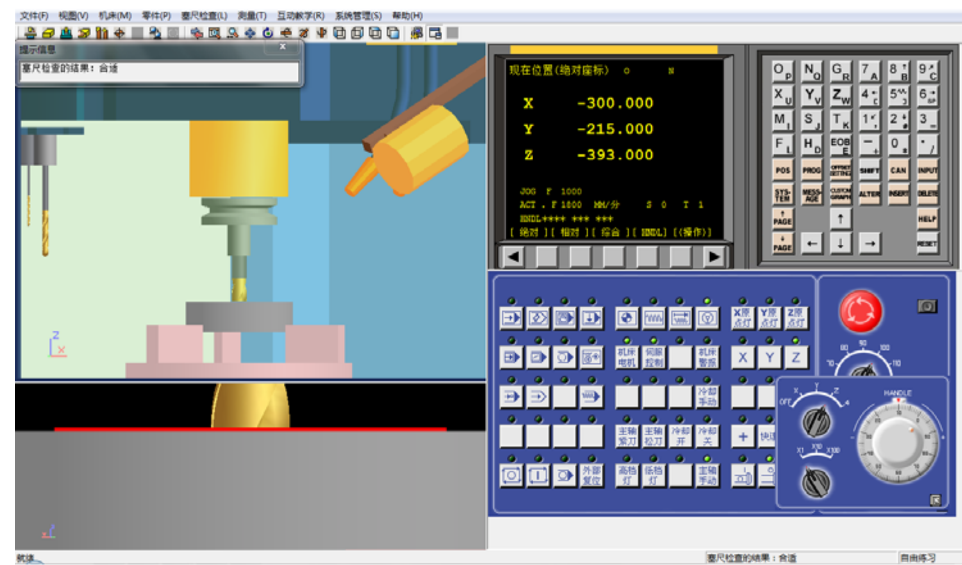


图 7-183　Z 向对刀

记下塞尺检查结果为“合适”时 CRT 界面中的 Z 坐标值，记为 Z-393。真实的 Z 坐标值应该为 Z-393 减去塞尺厚度 1，即为 Z-394。将–394 输入 01 号刀具长度补偿，同时可以输入半径补偿值 10。

用同样的方法完成 2 号刀具、3 号刀具和 4 号刀具 Z 向对刀，同时对 2、3、4 号刀具可以输入半径补偿值 4、3、1.5。最终设置情况如图 7-184 所示。



图 7-184　Z 刀具参数设置

8. 自动加工

单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯变亮。

单击操作面板上的循环启动按钮，程序开始执行。执行加工的过程如图 7-185 所示。

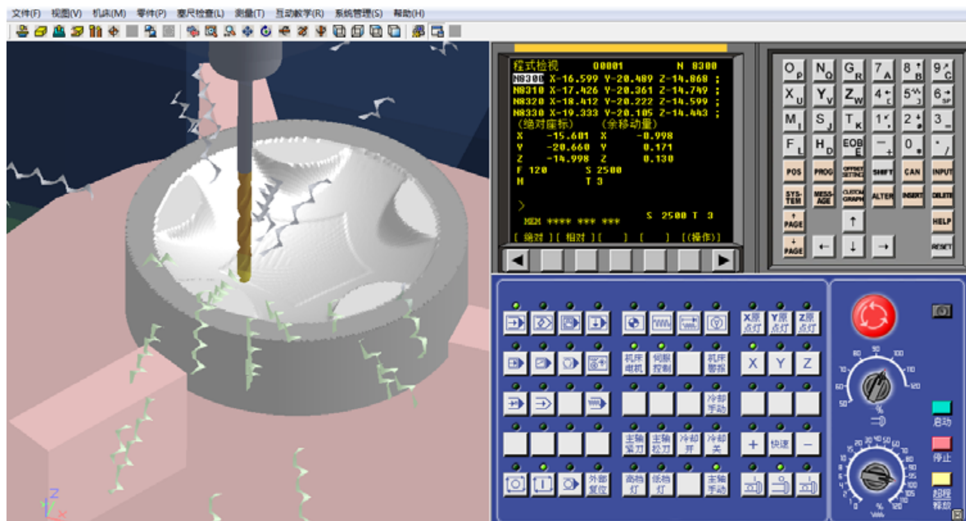


图 7-185　自动加工过程

最终零件加工结果如图 7-186 所示。

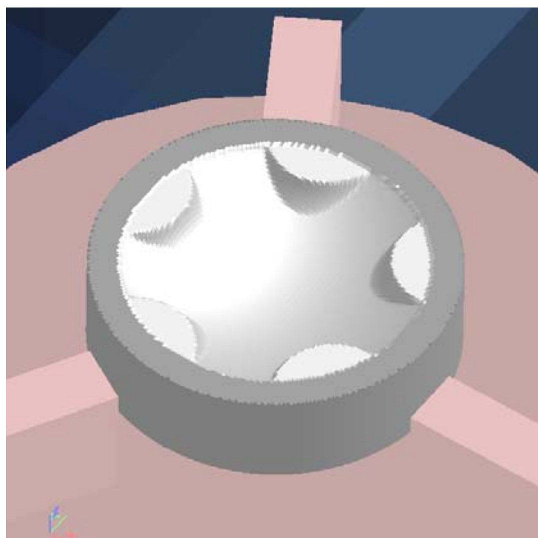


图 7-186　零件加工结果

7.7.7 检测与分析

1. 检测与分析项目

1）检查走刀轨迹的正确性。

2）检查最终的零件形状是否正确。

3）检查操作过程是否规范。

4）检查零件的尺寸是否合格。

2. 检测与分析零件尺寸

单击“测量”菜单，然后单击下拉菜单中的“剖面图测量...”，分别对相应的尺寸进行检测。注意选择测量平面及调整高度，测量该保证的尺寸，如图 7-187 所示。

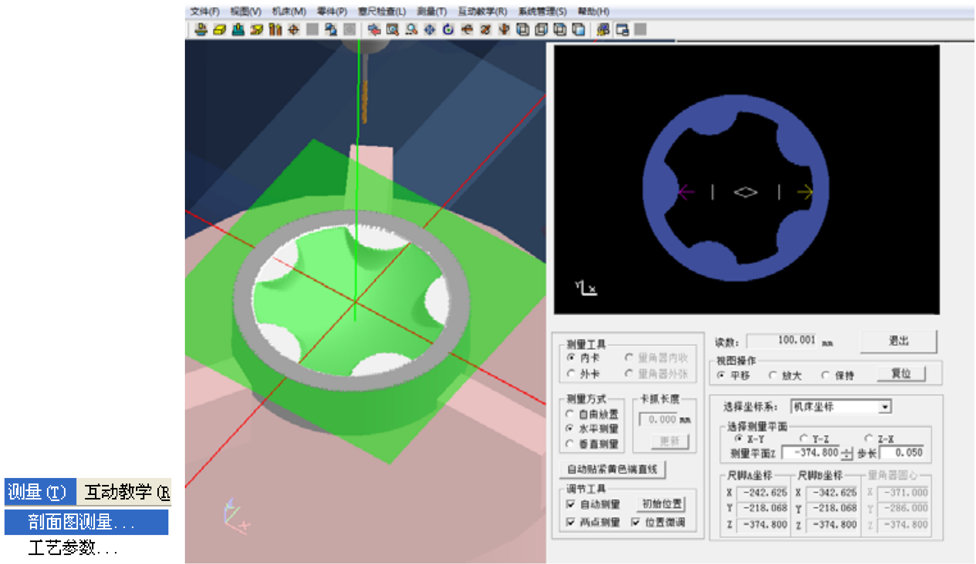


图 7-187 尺寸检查

参 考 文 献

[1]　陈洪涛．数控加工工艺与编程[M]．北京：高等教育出版社，2003．

[2]　卢万强．数控加工技术[M]．北京：北京理工大学出版社，2008．

[3]　张兆隆．数控加工工艺与编程[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[4]　解海滨．数控加工技术实训[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[5]　周虹．数控加工工艺设计与程序编制[M]．北京：人民邮电出版社，2009．

ISBN 978-7-111-36029-2
ISBN 978-7-89433-146-5（光盘）

封面设计/电脑制作：姚毅

宇龙4.2 数控仿真技术与应用实例详解

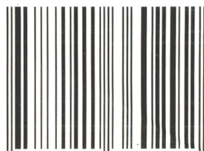
内容系统，讲解循序渐进，实现快速入门和提高

实例典型，操作示例和综合应用范例相结合

光盘提供操作视频演示，提高学习效率

上架指导：工业技术/机械工程/数控技术

定价：48.00元（含配书光盘）



地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版